

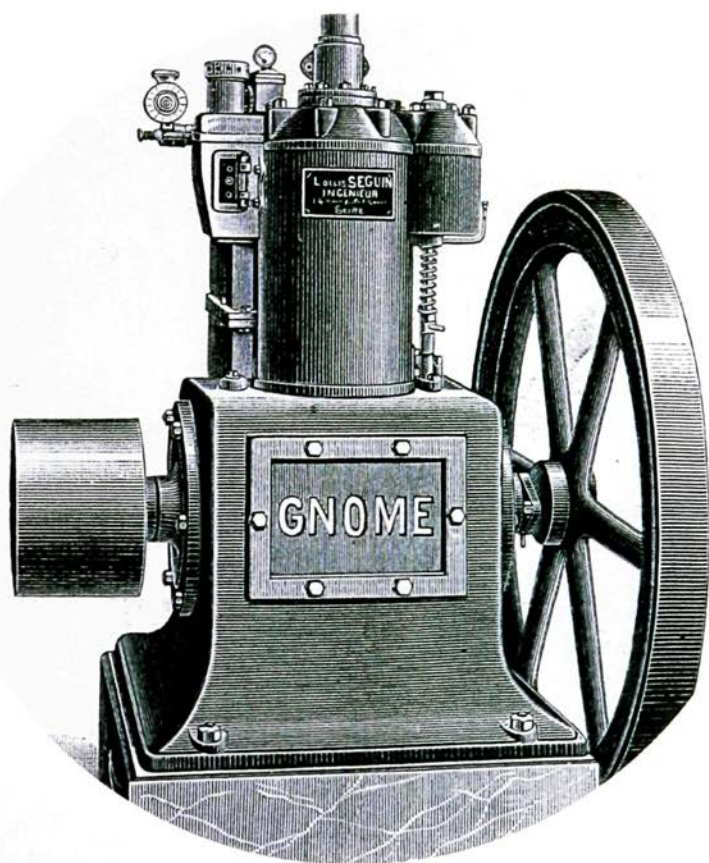
guida

dello studente

Alma Mater  
Studiorum  
Università  
di Bologna



Facoltà di  
Ingegneria



Anno accademico 2002-2003





TORRE 6 AB GUIDE 2002



ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# GUIDA DELLO STUDENTE PER LA FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Anno Accademico 2002-2003

Biblioteca "Gian Paolo Dore"  
Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

INV. N° 15083



PIANO 6 AB GUIDE 2002

© 2003 by CLUEB  
Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna



GUIDA DELLO STUDENTE  
PER LA FACOLTÀ DI  
INGEGNERIA

Anno Accademico 2002-2003

Redazione a cura del Prof. Ezio Mesini (e-mail: [ezio.mesini@mail.ing.unibo.it](mailto:ezio.mesini@mail.ing.unibo.it))

In copertina: J.L. BRETON, *La revue scientifique et industrielle de l'année*, Paris, Librairie E. Bernard, 1897, p. 332.

ISBN 88-491-2012-5

CLUEB  
Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna  
40126 Bologna - Via Marsala 31  
Tel. 051 220736 - Fax 051 237758  
[www.clueb.com](http://www.clueb.com)

Finito di stampare nel mese di gennaio 2003  
da Legoprint - Lavis (TN)



## INDICE

	<i>pag.</i>
<b>FACOLTÀ DI INGEGNERIA (sede di Bologna)</b> .....	7
<b>PRESENTAZIONE DEL PRESIDE PROF. ING. GUIDO MASETTI</b> .....	7
<b>INFORMAZIONI GENERALI</b> .....	9
<b>Norme generali di segreteria</b> .....	11
<b>Tutorato</b> .....	13
<b>Biblioteca Centrale della Facoltà "G.P. Dore"</b> .....	14
<b>NUOVI ORDINAMENTI</b> .....	18
– Informazioni generali.....	18
– Calendario .....	26
Corso di laurea in Ingegneria chimica .....	29
Corso di laurea in Ingegneria civile .....	30
Corso di laurea in Ingegneria dell'automazione .....	32
Corso di laurea in Ingegneria delle telecomunicazioni .....	34
Corso di laurea in Ingegneria edile (sede a Cesena) .....	37
Corso di laurea in Ingegneria elettrica .....	39
Corso di laurea in Ingegneria elettronica .....	41
Corso di laurea in Ingegneria gestionale .....	44
Corso di laurea in Ingegneria dei processi gestionali .....	45
Corso di laurea in Ingegneria informatica .....	47
Corso di laurea in Ingegneria meccanica .....	49
Corso di laurea in Ingegneria per l'ambiente ed il territorio .....	50
Corso di laurea in Ingegneria energetica .....	54
Corso di laurea specialistica in Ingegneria delle telecomunicazioni .....	55
Corso di laurea specialistica in Ingegneria edile-architettura .....	57
Corso di laurea specialistica in Ingegneria elettrica .....	60
Corso di laurea specialistica in Ingegneria elettronica .....	61
Corso di laurea specialistica in Ingegneria informatica .....	62
<b>VECCHI ORDINAMENTI</b> .....	64
– Informazioni generali .....	64
– Calendario .....	67
Corso di laurea in Ingegneria edile .....	69
Corso di laurea in Ingegneria chimica .....	72
Corso di laurea in Ingegneria civile .....	75
Corso di laurea in Ingegneria delle telecomunicazioni .....	81
Corso di laurea in Ingegneria elettrica .....	84
Corso di laurea in Ingegneria elettronica .....	87
Corso di laurea in Ingegneria gestionale .....	95

Corso di laurea in Ingegneria informatica .....	98
Corso di laurea in Ingegneria meccanica .....	103
Corso di laurea in Ingegneria nucleare .....	110
Corso di laurea in Ingegneria per l'ambiente ed il territorio .....	114
Corso di diploma universitario in Ingegneria dell'ambiente e delle risorse .....	121
Corso di diploma universitario in Edilizia (sede di Cesena) .....	122
<b>ELENCO DEGLI INSEGNAMENTI DI CUI I DOCENTI HANNO RESO DISPONIBILI I PROGRAMMI</b>	<b>124</b>
<b>SECONDA FACOLTÀ DI INGEGNERIA (con sede a Cesena)</b> .....	<b>136</b>
<b>PRESENTAZIONE DEL PRESIDE PROF. ING. FRANCO PERSIANI</b> .....	<b>136</b>
<b>INFORMAZIONI GENERALI</b> .....	<b>137</b>
Calendario .....	138
<b>NUOVI ORDINAMENTI</b> .....	<b>140</b>
Sede di Cesena .....	147
Corso di laurea in Ingegneria biomedica .....	147
Corso di laurea in Ingegneria delle telecomunicazioni .....	150
Corso di laurea in Ingegneria elettronica .....	155
Corso di laurea in Ingegneria informatica .....	159
Corso di laurea specialistica in Ingegneria biomedica .....	161
Corso di laurea specialistica in Ingegneria dei sistemi e tecnologia dell'informazione .....	163
Sede di Forlì .....	166
Corso di laurea in Ingegneria aerospaziale .....	166
Corso di laurea in Ingegneria meccanica .....	169
Corso di laurea specialistica in Ingegneria aerospaziale .....	174
Corso di laurea specialistica in Ingegneria meccanica .....	177
<b>VECCHI ORDINAMENTI</b> .....	<b>182</b>
<b>INFORMAZIONI GENERALI</b> .....	<b>182</b>
Sede di Cesena .....	186
Corso di Diploma universitario in Ingegneria delle telecomunicazioni .....	186
Corso di Diploma universitario in Ingegneria elettronica .....	187
Corso di Diploma universitario in Ingegneria informatica .....	189
Sede di Forlì .....	191
Corso di Diploma universitario in Ingegneria aerospaziale .....	191
Corso di Diploma universitario in Ingegneria meccanica .....	193
Corso di laurea in Ingegneria aerospaziale .....	194
Corso di laurea in Ingegneria meccanica .....	195
<b>ELENCO DEGLI INSEGNAMENTI DI CUI I DOCENTI HANNO RESO DISPONIBILI I PROGRAMMI</b>	<b>198</b>
<b>PROGRAMMI DEGLI INSEGNAMENTI RESI DISPONIBILI DAI DOCENTI</b>	<b>202</b>



## FACOLTÀ DI INGEGNERIA

### PRESENTAZIONE DEL PRESIDE

Questa Guida è stata realizzata per tutti coloro che sono interessati a conoscere l'organizzazione dei Corsi di Studio della Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Bologna, ed è indirizzata principalmente agli studenti, in via di immatricolazione o già iscritti, ai quali vuole essere di aiuto nelle scelte e nello svolgimento dei loro studi.

In conformità con la recente Riforma Universitaria ed a seguito di una positiva sperimentazione attuata nei precedenti AA 99/00 e 00/01, la Facoltà d'Ingegneria ha predisposto già dall'AA 2001/02 per tutti i Corsi di Studio (con la sola eccezione di quello in Ingegneria Edile-Architettura) una nuova organizzazione didattica che consentirà agli allievi di poter acquisire un titolo universitario (laurea) già al termine dei primi 3 anni di corso. Gli obiettivi principali della Riforma sono: abbreviare i tempi di conseguimento del titolo di studio e ridurre gli abbandoni, coniugare una preparazione di tipo metodologico-culturale, da sempre prerogativa della didattica universitaria, con una formazione professionalizzante, creare un sistema di studi articolato su due livelli di laurea secondo la formula del 3+2, facilitare la mobilità degli studenti a livello nazionale e internazionale attraverso l'introduzione del sistema dei crediti.

La nuova organizzazione degli studi d'Ingegneria si articola pertanto su due livelli: il primo di 3 anni (pari a 180 crediti) comporta l'acquisizione di una laurea, il secondo, successivo al primo, permette di conseguire una laurea specialistica, pari ad ulteriori 120 crediti. Un credito didattico, nominalmente, corrisponde ad un'attività di studio complessiva dello studente pari a circa 25 ore a tempo pieno.

I corsi di laurea hanno l'obiettivo di assicurare allo studente un'adeguata padronanza di metodi e contenuti scientifici generali, nonché l'acquisizione di specifiche conoscenze professionali. Al termine di tali percorsi gli allievi conseguiranno un titolo pienamente idoneo per l'accesso al mondo del lavoro. Con la laurea specialistica viene conseguito un ulteriore titolo che assicura una formazione di livello avanzato per l'esercizio di un'attività di elevata qualificazione.

Il corso di laurea specialistica in Ingegneria Edile-Architettura costituisce una laurea a ciclo unico (300 crediti); per questa laurea, regolata da normative dell'Unione Europea, non esiste un I livello, ma una distribuzione delle attività didattiche direttamente su 5 anni.

Dopo il conseguimento della laurea e della laurea specialistica gli studenti potranno anche, eventualmente, proseguire nei loro studi con i master di primo e di secondo livello (60 crediti), rispettivamente. Inoltre, dopo il conseguimento della laurea specialistica il percorso didattico potrà essere arricchito con il dottorato di ricerca (3 anni) finalizzato alla ricerca di base o applicata.

Uno dei risultati principali del rilevante sforzo organizzativo e didattico che l'attuazione della Riforma ha comportato, è stata la definizione di nuove figure professionali che, oltre ad aver incrementato l'offerta formativa della Facoltà, meglio rispondono da un lato a forti sollecitazioni del mondo produttivo e dall'altro alla necessità di adeguare l'Università italiana al sistema universitario degli altri Paesi europei.

In particolare, per l'AA 2002-03 la nostra Facoltà è in grado di offrire nella loro completa estensione triennale i seguenti corsi di laurea di primo livello: Elettrica, Elettronica, Informatica, Telecomunicazioni, nonché i primi due anni dei seguenti percorsi didattici triennali: Ambiente e

territorio, Chimica, Civile, Energetica, Edile (Cesena), Gestionale, Processi gestionali e Meccanica. In Bologna risultano già attivi i primi anni delle lauree specialistiche in Ingegneria Elettrica, Ingegneria Elettronica, Ingegneria Informatica ed in Ingegneria delle Telecomunicazioni,

Inoltre, a Bologna è attiva la già ricordata laurea quinquennale specialistica in Ingegneria Edile-Architettura, riordinata secondo la normativa europea. Restano anche attivi, per l'AA 2002-03, gli anni di corso successivi al secondo dei Corsi di studio tradizionali attivi prima della Riforma, consentendo così agli allievi già iscritti nei precedenti AA di portare a termine i loro studi secondo gli originali *curricula*.

Infine, sulla base dei contenuti dei singoli corsi, la Facoltà ha anche predisposto una serie di tabelle di accreditamento tra i corsi dell'ordinamento preesistente (vecchio ordinamento) e corsi del nuovo ordinamento che consentono agli allievi di poter facilmente transitare dal vecchio al nuovo ordinamento.

Nella Guida sono indicate le modalità di accesso ai singoli Corsi di studio, nonché i piani didattici (Manifesti) degli studi e i programmi dei relativi Insegnamenti. Gli studenti possono così trovare ampia informazione per una meditata scelta del loro *curriculum* e, in definitiva, per conseguire una preparazione professionale rispondente alle proprie aspirazioni.

Per un corretto inserimento nel percorso didattico ed un proficuo svolgimento degli studi, resta comunque insostituibile il contatto diretto con chi lavora nella Facoltà e per la Facoltà: Docenti e Ricercatori, direttamente impegnati nell'attività didattica e di ricerca, e quanti, addetti ai Servizi Tecnici e Amministrativi e alla Segreteria studenti, si prodigano per offrire agli studenti il migliore servizio possibile.

Nel corso dei prossimi AA l'offerta didattica della Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Bologna, *compatibilmente con le risorse di docenti e di spazi messe a disposizione dal Ministero*, dovrebbe ulteriormente arricchirsi di altri percorsi didattici innovativi. In particolare, sono già state inseriti ad ordinamento, ma non ancora attivati per il corrente AA, i percorsi in Ingegneria Alimentare e in Ingegneria dell'Informazione.

Si informano infine gli studenti che indicazioni utili sulle attività dell'Ateneo e della Facoltà sono disponibili nei rispettivi siti INTERNET [www.unibo.it](http://www.unibo.it) e [www.ing.unibo.it](http://www.ing.unibo.it).

Nella convinzione di presentare ai giovani, con questa Guida, percorsi formativi particolarmente rispondenti alle esigenze del mondo del lavoro, la Facoltà rivolge agli studenti un caloroso augurio per i loro studi e per la successiva attività professionale.

**Bologna, novembre 2002**

**Il Preside  
Prof. Ing. Guido Masetti**



## INFORMAZIONI GENERALI

Facoltà di Ingegneria  
<http://www.ing.unibo.it/>

Preside: **prof. ing. Guido Masetti**

### Strutture generali:

- presidenza, viale Risorgimento 2 - 40136 Bologna ..... tel. 051-2093735  
..... fax 051-2093604
- e-mail presidenza:      [giovanni.bonavoglia@mail.ing.unibo.it](mailto:giovanni.bonavoglia@mail.ing.unibo.it)  
                                 [giovanna.negrone@mail.ing.unibo.it](mailto:giovanna.negrone@mail.ing.unibo.it)  
                                 [emilio.pesce@mail.ing.unibo.it](mailto:emilio.pesce@mail.ing.unibo.it)  
                                 [analisia.ramponi@mail.ing.unibo.it](mailto:analisia.ramponi@mail.ing.unibo.it)  
                                 [paola.candotti@mail.ing.unibo.it](mailto:paola.candotti@mail.ing.unibo.it)  
                                 [silvana.grandi@mail.ing.unibo.it](mailto:silvana.grandi@mail.ing.unibo.it)  
                                 [antonella.gorgoglione@mail.ing.unibo.it](mailto:antonella.gorgoglione@mail.ing.unibo.it)
- portineria di viale Risorgimento 2 ..... tel 051-2093730
- biblioteca centrale, in viale Risorgimento 2 ..... tel 051-2093937  
..... fax 051-2093942
- Centro di calcolo (CCIB), viale Risorgimento 2 ..... tel. 051-2093123  
e-mail: [ccib@mail.ing.unibo.it/ccib/ccib.html](mailto:ccib@mail.ing.unibo.it/ccib/ccib.html)
- segreteria di Facoltà, via Saragozza 8, 40123 Bologna ..... tel. 051-2093990  
..... fax 051-2093992  
e-mail segreteria di Facoltà: [segrfac@presing.ing.unibo.it](mailto:segrfac@presing.ing.unibo.it)
- portineria di via Saragozza 8..... tel. 051-2093734


**DIPARTIMENTI DI RIFERIMENTO**

- DAPT** ..... tel. 051-2093155  
 (dipartimento di architettura e pianificazione territoriale)  
 direttore: prof. Carlo Monti  
 e-mail: carlo.monti@mail.ing.unibo.it  
 ..... fax 051-643156  
 segretario amministrativo: dr. Angiola Valenti
- DEIS** ..... tel. 051-2093001  
 (dipartimento di elettronica, informatica e sistemistica)  
 direttore: prof. Claudio Bonivento  
 e-mail: direttore@deis.unibo.it  
 ..... fax 051-2093073  
 segretario amministrativo: dr. Anna Maria Sacchetti
- DICASM** ..... tel. 051-2093201  
 (dipartimento di chimica applicata e scienza dei materiali)  
 direttore: prof. Franco Sandrolini  
 e-mail: franco.sandrolini@mail.ing.unibo.it  
 ..... fax 051-2093218  
 segretario amministrativo: dr. Cesare Miriello
- DICMA** ..... tel. 051-2093135  
 (dipartimento di ingegneria chimica, mineraria e delle tecnologie ambientali)  
 direttore: prof. Franco Magelli  
 e-mail: franco.magelli@mail.ing.unibo.it  
 ..... fax 051-581200  
 segretario amministrativo: dr. Claudia Sicuranza ..... tel. 051-2093135
- DIE** ..... tel. 051-2093561  
 (dipartimento di ingegneria elettrica)  
 direttore: prof. Luciano Simoni  
 e-mail: luciano.simoni@mail.ing.unibo.it  
 ..... fax 051-2093588  
 segretario amministrativo: dr. Michele Buratin
- DIEM** ..... tel. 052-2093431  
 (dipartimento di ingegneria delle costruzioni meccaniche,  
 nucleari, aeronautiche e di metallurgia)  
 direttore: prof. Piero Pelloni  
 e-mail: piero.pelloni@mail.ing.unibo.it  
 ..... fax 051-2093439  
 segretario amministrativo: dr. Luigia Di Pumpo
- DIENCA** ..... tel. 051-2093281  
 (dipartimento di ingegneria energetica, nucleare e del  
 controllo ambientale)  
 direttore: prof. Vincenzo Molinari

e-mail: <a href="mailto:vincenzo.molinari@mail.ing.unibo.it">vincenzo.molinari@mail.ing.unibo.it</a>	
.....	fax 051-2093296
segretario amministrativo: dr. Carla Zanni	
DISTART .....	tel. 051-2093490
(dipartimento di ingegneria delle strutture, dei trasporti, delle acque, del rilevamento, del territorio)	
direttore: prof. Marco Unguendoli	
e-mail: <a href="mailto:marco.unguendoli@mail.ing.unibo.it">marco.unguendoli@mail.ing.unibo.it</a>	
.....	fax 051-2093495
segretario amministrativo: dr. Lorenza Pucci	
Dipartimento di FISICA .....	tel. 051-6305255
direttore: prof. Antonio Maria Rossi	
e-mail: <a href="mailto:direzione@df.unibo.it">direzione@df.unibo.it</a>	
.....	fax 051-252774
segretario amministrativo: dr. Simona Nardini	
Dipartimento di MATEMATICA .....	tel. 051-2094402
direttore: prof. Giovanni Dore	
e-mail: <a href="mailto:dore@dm.unibo.it">dore@dm.unibo.it</a>	
.....	fax 051-2094490
segretario amministrativo: dr. Luigi Micaletto	
CIEG.....	tel. 051-2093946
(Centro di studi di ingegneria economico-gestionale)	
direttore: prof. Andrea Zanoni	
e-mail: <a href="mailto:andrea.zanoni@mail.ing.unibo.it">andrea.zanoni@mail.ing.unibo.it</a>	
.....	fax 051-2093949
CIRAM.....	tel. 051-2093970
(Centro interdipartimentale di ricerca per le applicazioni della matematica)	
direttore: prof. Silvano Matarasso	
e-mail: <a href="mailto:matarasso@ciram.ing.unibo.it">matarasso@ciram.ing.unibo.it</a>	
.....	fax 051-582528
segretario amministrativo: sig.ra Bianca Maria Angeloni Riva	

### **Norme generali di segreteria**

La Segreteria studenti si trova in Via Saragozza, 10 - Bologna (tel. N° 051-2093990) e-mail: [seging@ammc.unibo.it](mailto:seging@ammc.unibo.it)

L'orario di apertura al pubblico è il seguente:

Lunedì-Martedì-Mercoledì-Venerdì dalle ore 9.00 alle ore 11.15

Martedì-Giovedì dalle ore 14.30 alle ore 15.30

Tutte le eventuali disposizioni modificative di quanto riportato dalla presente guida e tutte le eventuali comunicazioni di carattere amministrativo o didattico verranno affisse di volta in volta negli albi della Facoltà e/o della Segreteria studenti.

Si informano gli studenti che indicazioni utili sulle attività dell'Ateneo e della Facoltà, sono disponibili nei rispettivi siti INTERNET: [www.unibo.it](http://www.unibo.it) e [www.ing.unibo.it](http://www.ing.unibo.it)

Il Regolamento didattico di Ateneo ed il Regolamento Studenti sono consultabili al sito Internet [www.unibo.it](http://www.unibo.it)

È attivo 24h su 24 al n° 051-242062 un risponditore telefonico automatico che fornisce informazioni di carattere generale.

## Tutorato

In riferimento alla legge n. 341/90 la Facoltà di ingegneria ha attivato il servizio di tutorato, che consiste nel mettere a disposizione di ogni studente un tutore al quale rivolgersi per superare difficoltà nel corso degli studi.

Il tutore ha il compito di aiutare lo studente ad orientarsi nell'ambito universitario, per acquisire un metodo efficace di studio, con seguire il corso di studi o l'indirizzo più adatto alle sue aspirazioni, per suggerire l'ordine con cui sostenere gli esami.

Il servizio di tutorato è svolto da docenti e ricercatori della Facoltà e può essere richiesto da tutti gli studenti, anche se è particolarmente consigliato alle matricole.

Per accedere al tutorato occorre compilare un apposito modulo reperibile presso la Segreteria studenti o presso la Portineria della Facoltà e da riconsegnare in Portineria entro il termine indicato sul modulo.

La Facoltà designerà i tutori sulla base delle richieste pervenute, comunicando agli interessati l'assegnazione.

Fac- simile del modulo di richiesta per il tutorato:

All'attenzione del Preside della Facoltà di ingegneria

Il/la sottoscritto/a .....  
 nato/a a ..... il .....  
 titolare di diploma di maturità .....  
 iscritto/a all'anno .....  
 del Corso di laurea in ingegneria .....  
 nell'anno accademico 2002-2003

chiede

di poter usufruire del servizio di tutorato e indica quali tutori possibilmente i seguenti:

- 1) .....
- 2) .....

Con ossequio

Bologna, .....

**Biblioteca Centrale della Facoltà "G.P. Dore"**  
<http://biblio.ing.unibo.it>

Viale Risorgimento, 2 - CAP 40136 Bologna  
 tel. 051.20.93744  
 fax. 051.20.93742

Direttore: Prof. ing. Andrea Munari  
 Responsabile tecnico: Dott.ssa Maria Pia Torricelli

**Servizi al pubblico:**

Carolina Ancona (ancona@mail.cib.unibo.it) 051.20.93744  
 Gennaro Canistro 051.20.93744  
 Norma Macchiavelli (machiavelli@mail.cib.unibo.it) 051.20.93744  
 Sonia Sabbioni (sabbioni@mail.cib.unibo.it) 051.20.93744

**Segreteria:**

Adriana Verardi Luppi (luppi@mail.cib.unibo.it) 051.20.93737  
 Rossella Salbego (salbego@mail.cib.unibo.it) 051.20.93736

**Bibliotecari:**

Anna Galluzzi (galluzzi@mail.cib.unibo.it) 051.20.93744  
 Paolo Tinti (tinti@mail.cib.unibo.it) 051.20.93739  
 Maria Pia Torricelli (torricelli@mail.cib.unibo.it) 051.20.93601  
 Maurizio Zani (zani@mail.cib.unibo.it) 051.20.93729

**Informatico per l'area Scientifico-tecnica**

Claudia Possenti (possenti@mail.cib.unibo.it; claudia.possenti@mail.ing.unibo.it)  
 051.2093732

**ORARI**

**Sala Consultazione** lun-ven h. 8.30 - h. 19.00

**Emeroteca** lun-ven h. 8.30 - h. 19.00

**Saletta Terminali** lun-ven h. 8.30 - h. 19.00

**Consegna libri dal deposito** lun-ven h. 10, 12, 14.30, 16.30

**Prestito** lun, mer, ven h. 9.00- 14.00

mar, gio h 9.00-18.00

**Reference librarian** (assistenza all'uso della biblioteca ed alle ricerche bibliografiche) lun-gio  
 h. 9.00- 13.00

(o per appuntamento)

**Sale di consultazione**

Catalogo per autori e titoli a schede cartacee (cessato nel 2000 ed ubicato al piano terra)

Catalogo per soggetto a schede cartacee (cessato nel 2000 ed ubicato al piano terra)



Cataloghi elettronici aggiornati consultabili da terminali al pubblico  
 Testi di consultazione generale: dizionari, enciclopedie etc. (piano terra)  
 Monografie di più recente acquisizione, testi in programma d'esame o comunque di più frequente consultazione (piano terra)

### **Emeroteca**

Tutte le riviste a cura dell'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) in edizione cartacea o elettronica (IEL- IEEE/IEE ELECTRONIC LIBRARY consultabile per appuntamento)  
 Annata corrente più due anni pregressi dei periodici in abbonamento esclusa la Gazzetta Ufficiale da richiedere al servizio di distribuzione  
 L'utente che vuole accedere all'emeroeca deve iscriversi al servizio.

### **Terminali al pubblico**

Sono a disposizione degli utenti 3 postazioni internet (1 per appuntamento) riservate alla consultazione dell'OPAC (catalogo elettronico) aggiornato della Biblioteca ed in generale di risorse bibliografiche elettroniche online  
 Sono a disposizione degli utenti 2 (per appuntamento) postazioni per la consultazione delle pubblicazioni elettroniche online e in cd rom acquistate dalla Biblioteca.

## **CENTRO D.I.E.A.**

### **Centro di Documentazione su Ingegneria ed Etica Ambientale**

Viale Risorgimento, 2 - CAP 40136 Bologna  
 tel. 051.20.93743, 329.2112551  
 fax. 051.20.93742

Responsabile esecutivo: dott. ing. Felice Antonio Palmeri

### **ORARI**

Mercoledì: h 14.00 -h 18.00

Giovedì: h 9.00 - h 13.00

h 14.00 - h 18.00

(Gli appuntamenti devono essere concordati telefonicamente)

### **SERVIZI**

- Assistenza per ricerche bibliografiche (per appuntamento o secondo gli orari indicati)
- Prestito locale (previa iscrizione)
- Prestito interbibliotecario (richiesta in prestito, per i nostri utenti, di monografie conservate presso altre biblioteche) (previa iscrizione)
- Document delivery (richiesta, per i nostri utenti, di fotocopie di articoli o parti di monografie conservati presso altre biblioteche; invio di copia dei nostri documenti ad altre biblioteche; il servizio prevede un parziale rimborso spese)
- Consultazioni INTERNET con finalità di ricerche bibliografico-documentarie (per appuntamento)
- Depliant informativi

- Seminari informativi sulle risorse bibliografiche INTERNET
- Riproduzione materiali protetti (per appuntamento)

## RACCOLTE PIÙ SIGNIFICATIVE

### Periodici

- Periodici scientifici di ambito prevalentemente ingegneristico in edizione, cartacea e/o elettronica

### Monografie

- Opere di ambito tecnico scientifico e ingegneristico, monografie consigliate nei programmi d'esame, repertori generali di consultazione, handbook, dizionari tecnici, testi di biblioteconomia in edizione cartacea e/o elettronica

### Normativa tecnica

- Normativa tecnica: UNI in edizione cartacea
- Normativa tecnica in cd-rom: CEI e IEEE (per appuntamento)
- Normativa tecnica internazionale in formato elettronico online: ISO, DIN eng., ASTM, CEN, etc.

### Documentazione legislativa

- Gazzetta ufficiale della Repubblica italiana (tutte le serie), edizioni in carta e cd rom
- Gazzetta ufficiale delle Comunità europee L e C , edizione in cd rom
- Verbalì del Consiglio di Amministrazione dell'Università degli studi di Bologna
- Circolari ministeriali ed interne

### Volumi antichi o di pregio

- I volumi antichi o particolarmente preziosi, e i manoscritti sono consultabili per appuntamento

## BANCHE DATI ON LINE

*Sottoscritte dalla Biblioteca, ma accessibili da tutti i pc in rete d'Ateneo*

### Bibliografie

#### EI COMPENDEX PLUS

[Http://www.ei.org/ev2/home](http://www.ei.org/ev2/home)

#### INSPEC

[Http://erl.ing.unibo.it](http://erl.ing.unibo.it)

#### ICONDA

<http://iconda.ing.unibo.it>

#### AEROSPACE DATABASE

<http://aers.ing.unibo.it>

#### ARCHINET

<http://iuavbc.iuav.it/easyweb/ewbd/>

### Full text

(più significativi)

#### IEL- IEEE/IEE Electronic Library

<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/>

**WORLDWIDE STANDARDS SERVICE PLUS**  
 normativa tecnica internazionale ISO, ASTM, DIN,  
 CEN, et al.

[http://www.cilea.it/Virtual\\_Library/wss/home.htm](http://www.cilea.it/Virtual_Library/wss/home.htm)

**PERIODICI ELETTRONICI**

<http://biblio.ing.unibo.it/emeroteca/online.html>

**Tutte le pubblicazioni, in edizione cartacea o elettronica, non collocate a scaffale aperto (volumi progressivi di periodici e monografie conservate nel deposito, cd rom, video cassette, etc.) devono essere richieste al personale addetto.**

## NUOVI ORDINAMENTI

### *Corsi di Laurea di I livello (triennali)*

0044 Ingegneria Chimica	classe 10
0045 Ingegneria Civile	classe 8
0055 Ingegneria dell'Automazione	classe 9
0046 Ingegneria delle Telecomunicazioni	classe 9
Ingegneria Edile (sede di Cesena)	classe 4
0047 Ingegneria Elettrica	classe 10
0048 Ingegneria Elettronica	classe 9
0049 Ingegneria Gestionale	classe 10
0050 Ingegneria dei Processi Gestionali	classe 9
0051 Ingegneria Informatica	classe 9
0052 Ingegneria Meccanica	classe 10
0053 Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio	classe 8
0057 Ingegneria Energetica	classe 10

### *Corsi di laurea specialistica di II livello*

0231 Ingegneria delle Telecomunicazioni	classe 30/s
0067 Ingegneria Edile/Architettura (a ciclo unico-5 anni)	classe 4/s
0232 Ingegneria Elettrica	classe 31/s
0233 Ingegneria Elettronica	classe 32/s
0234 Ingegneria Informatica	classe 35/s

## INFORMAZIONI GENERALI

### Riforma degli studi

La riforma universitaria cambia il sistema degli studi universitari italiano, secondo un modello concordato con gli altri paesi dell'Unione Europea.

Gli obiettivi della riforma sono:

- abbreviare i tempi di conseguimento del titolo di studio e ridurre gli abbandoni
- coniugare una preparazione metodologica-culturale, da sempre prerogativa della didattica universitaria, con una formazione professionalizzante
- creare un sistema di studi articolato su due livelli di laurea secondo la formula del 3+2
- facilitare la mobilità degli studenti a livello nazionale e internazionale attraverso l'introduzione del sistema dei crediti.

**La nuova organizzazione.** La nuova organizzazione degli studi universitari si articola in due livelli: al primo ci sono i corsi di laurea, che durano tre anni (180 crediti). Essi hanno l'obiettivo di assicurare allo studente un'adeguata padronanza di metodi e contenuti scientifici generali, nonché l'acquisizione di specifiche conoscenze professionali. Al termine dei corsi, infatti, si consegue un titolo già idoneo per l'accesso al lavoro. Dopo la laurea è anche possibile seguire master di primo livello (almeno 60 crediti) o scuole di specializzazione post-laurea.

Al secondo livello si collocano i corsi di laurea specialistica. Essi durano due anni e prevedono l'acquisizione di 120 crediti. Con la laurea specialistica si consegue un titolo che assicura una formazione di livello avanzato per l'esercizio di attività di elevata qualificazione in ambiti speci-

fici. Per essere ammessi ad un corso di laurea specialistica occorre essere in possesso della laurea di 1° livello.

Il corso di laurea in Ingegneria Edile-Architettura (laurea a ciclo unico) è regolata da normative dell'Unione Europea, non esiste un 1° livello, ma una distribuzione delle attività didattiche direttamente su 5 anni (300 crediti).

**Classi.** Sono dei contenitori dei corsi di studio dello stesso livello: riuniscono corsi aventi uguali obiettivi qualificanti, gli stessi vincoli nazionali e identico valore legale. Il nome e il numero delle classi sono fissati da norme nazionali. Ogni università può istituire, all'interno di una classe, uno o più corsi cui stabilirà autonomamente i nomi e, in parte, i programmi (curricula o percorsi).

**Crediti formativi Universitari.** Il credito formativo universitario (CFU) misura la quantità di attività di studio che è richiesto allo studente. Un credito corrisponde a 25 ore di lavoro che comprendono lezioni, esercitazioni, etc., ma anche lo studio a casa. Per ogni anno accademico, ad uno studente impegnato a tempo pieno nello studio è richiesta una quantità media di lavoro fissata in 60 crediti, ossia 1500 ore. Tutte le discipline del corso di laurea sono quotate in crediti; i crediti si acquisiscono con il superamento degli esami o delle altre forme di verifica stabilite dai regolamenti dei corsi di studio. *I crediti non sostituiscono i voti, non valutano il profitto: la qualità dello studio continuerà ad essere valutata con il voto, espresso in trentesimi per l'esame o la prova di altro genere, ed in centodecimi per la prova finale, con eventuale lode.*

I crediti consentono di comparare diversi sistemi di studio e valutare i contenuti dei programmi tra diversi corsi e diverse università italiane ed europee. Essi facilitano così la possibilità di trasferirsi da un corso di studio a un altro, oppure da un'università a un'altra, anche straniera. I crediti acquisiti durante un corso di studio vengono riconosciuti per il proseguimento in altri percorsi di studio. Ad esempio, i crediti acquisiti con Laurea possono essere riconosciuti, tutti o in parte a seconda della corrispondenza delle attività formative, per la continuazione degli studi con una Laurea Specialistica.

**Attività formative.** Il quadro delle attività formative dei nuovi curricula di studio si arricchisce. Oltre alla tradizionale preparazione universitaria, i nuovi corsi di studio forniranno conoscenze finalizzate a favorire concretamente l'integrazione europea e il raccordo con il mondo del lavoro.

A tal fine, ogni curriculum, a prescindere dal corso di studio al quale si è iscritti, prevederà un certo numero di crediti dedicato alla conoscenza obbligatoria di una seconda lingua dell'Unione Europea oltre l'italiano e conoscenze di tipo informatico, attività di tirocinio, stage.

Le attività formative che caratterizzano un corso di studio sono suddivise in diverse forme: didattica assistita (lezioni in aula, esercitazioni, seminari), studio individuale (studio di testi, elaborazione di relazioni, lavori di gruppo o individuali, attività di laboratorio, preparazione dell'esame), e attività svolte durante periodi di stage e tirocini.

**Prove e voti.** Per acquisire i CREDITI FORMATIVI assegnati alle ATTIVITÀ FORMATIVE è necessario il superamento da parte dello studente di una prova d'esame o di un'altra forma di verifica.

Le modalità della prova sono stabilite in modo autonomo da ogni singolo ateneo e vengono specificate nel Regolamento didattico del corso di studio: potranno consistere in prove scritte e/o orali, o giudizi di idoneità.

I crediti non sostituiscono il voto che continuerà ad essere espresso in trentesimi: 18 sarà la votazione minima, 30 quella massima con eventuale lode.

Il corso di Laurea si conclude con una prova finale.

## **Immatricolazioni**

L'iscrizione alla facoltà di Ingegneria prevede un test di orientamento comune per tutti i Corsi di Laurea e un test di ammissione per il solo Corso di Laurea in Ingegneria Edile Architettura.

### **Test di orientamento**

Il test d'orientamento, comune a tutti i corsi di laurea, si è tenuto alle ore 10:00 del 3 Settembre 2002 nella sede della Facoltà, in Viale Risorgimento 2 (Bologna).

La prova non ha carattere selettivo: il suo obiettivo è quello di offrire un primo strumento per saggiare le proprie potenzialità per affrontare gli studi di Ingegneria.

La facoltà ha organizzato corsi di accoglienza per gli studenti che nei test avranno conseguito un punteggio inferiore a 300/1000.

Per l'ammissione al test, il candidato ha versato, entro il 30 agosto 2002, un contributo di 41,31 € presso qualunque sportello della Rolo Banca 1473 o presso una filiale accreditata della Banca Popolare dell'Emilia Romagna (elenco disponibile su www.unibo.it).

Entro il termine del 16 Ottobre 2002 gli studenti dovranno effettuare il pagamento della prima rata di tasse e consegnare la dovuta documentazione in segreteria.

Per maggiori dettagli, si veda l'apposito documento informativo; ulteriori informazioni relative all'iscrizione e alla facoltà possono essere richieste al seguente indirizzo e-mail: info-point@mail.ing.unibo.it

### **Test di ammissione ad Edile Architettura**

Il Test di ammissione per Il Corso di Laurea in Ingegneria Edile Architettura, si è tenuto alle ore 10:00 del 4 Settembre 2002. La sede delle prove sarà la Facoltà di Ingegneria di Bologna (Viale Risorgimento, 2).

La prova è a carattere selettivo: il numero dei posti disponibili per l'A.A. 2002/2003 è determinato in 160.

Ricordiamo che, per essere ammessi a sostenere il test d'ingresso ad Ingegneria Edile Architettura, è necessario aver preventivamente versato una quota di iscrizione di 51,64 € presso qualunque sportello della Rolo Banca 1473 o presso una filiale accreditata della Banca Popolare dell'Emilia Romagna (elenco disponibile su www.unibo.it) e presentare o far pervenire alla segreteria studenti (Via Saragozza 8-10) entro le ore 14.00 del 27.08.2002, apposita domanda di ammissione. Per maggiori dettagli relativi al test e alla successiva immatricolazione, si veda l'apposito bando. ulteriori informazioni relative all'iscrizione e alla facoltà possono essere richieste al seguente indirizzo e-mail: infopoint@mail.ing.unibo.it.

## **Sbarramenti previsti per l'iscrizione all'anno accademico 2002/2003**

Il consiglio di facoltà, nelle sedute del 13/09/2002 e del 24/10/2002 ha apportato modifiche *liberalizzanti* agli sbarramenti previsti per l'iscrizione al II anno di corso.

Pertanto, gli studenti iscritti ai seguenti corsi di studio che non ottengono entro il 30 settembre 2002 i crediti (CFU) sottoindicati, disposti dai singoli regolamenti dei corsi di studio saranno iscritti in qualità di RIPETENTE del 1° anno (Art.6 Regolamento Studenti):

**0045 Ingegneria Civile**

**0046 Ingegneria delle Telecomunicazioni**

**0047 Ingegneria Elettrica**

**0048 Ingegneria Elettronica**

**0049 Ingegneria Gestionale**

**0050 Ingegneria dei Processi Gestionali**

- 0051 Ingegneria Informatica**
- 0052 Ingegneria Meccanica**
- 0053 Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio**
- 0057 Ingegneria Energetica**
- 0067 Ingegneria Edile Architettura**

18 crediti (CFU) relativi ad insegnamenti del 1° anno di corso

#### **0044 Ingegneria Chimica**

Non sono previsti sbarramenti, salvo il rispetto di alcune propedeuticità indicate nel Regolamento del Corso di Studio, consultabile sul sito Internet alla pagina [http://www.ing.unibo.it/ordinamenti/corsi/ing1\\_chi.htm](http://www.ing.unibo.it/ordinamenti/corsi/ing1_chi.htm)

#### **Sbarramenti previsti per l'iscrizione all'anno accademico 2003/2004**

Gli studenti iscritti ai seguenti corsi di studio che non ottengono entro il 30 settembre 2003 i crediti (CFU) sottoindicati, disposti dai singoli regolamenti dei corsi di studio saranno iscritti in qualità di RIPETENTE del 1° anno (Art.6 Regolamento Studenti):

#### **0045 Ingegneria Civile**

18 crediti (CFU) relativi ad insegnamenti del 1° anno di corso (tra questi obbligatoriamente almeno 6 CFU acquisiti tra gli insegnamenti di "Analisi Matematica L-A" e "Geometria e Algebra L" e almeno 6 CFU tra gli insegnamenti di "Analisi Matematica L-B", "Fisica Generale L" e "Meccanica Razionale L").

#### **0046 Ingegneria delle Telecomunicazioni**

#### **0047 Ingegneria Elettrica**

#### **0048 Ingegneria Elettronica**

#### **0049 Ingegneria Gestionale**

#### **0050 Ingegneria dei Processi Gestionali**

#### **0051 Ingegneria Informatica**

#### **0052 Ingegneria Meccanica**

#### **0053 Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio**

#### **0055 Ingegneria dell'Automazione**

#### **0057 Ingegneria Energetica**

18 crediti (CFU) relativi ad insegnamenti del 1° anno di corso (tra questi obbligatoriamente almeno 6 CFU acquisiti tra gli insegnamenti di "Analisi Matematica L-A" e "Geometria e Algebra L-A" e 6 CFU acquisiti tra gli insegnamenti di "Fisica Generale L-A" e "Fisica Generale L-B").

#### **0067 Ingegneria Edile Architettura**

18 crediti (CFU) relativi agli insegnamenti del 1° anno di corso (tra questi obbligatoriamente almeno 6 CFU acquisiti tra gli insegnamenti di "Analisi Matematica I" e "Geometria" e almeno 9 CFU tra gli insegnamenti di "Disegno dell'Architettura I" e "Storia dell'Architettura I").

#### **0044 Ingegneria Chimica**

Non sono previsti sbarramenti, salvo il rispetto di alcune propedeuticità indicate nel Regolamento del Corso di Studio, consultabile sul sito Internet alla pagina [http://www.ing.unibo.it/ordinamenti/corsi/ing1\\_chi.htm](http://www.ing.unibo.it/ordinamenti/corsi/ing1_chi.htm)

## **Requisiti per l'accesso alle Lauree Specialistiche**

Per immatricolarsi alle Lauree Specialistiche attivate in

Ingegneria Elettrica

Ingegneria Elettronica

Ingegneria Informatica

Ingegneria delle Telecomunicazioni

è necessario essere in possesso di una laurea (del vecchio ordinamento o triennale) che soddisfi i requisiti per l'accesso indicati di seguito.

Il titolo di laurea deve essere conseguito entro il 31 marzo 2003.

Le immatricolazioni, dopo la verifica dei requisiti d'accesso, devono essere fatte entro il 31 dicembre 2002. Le immatricolazioni degli studenti non ancora in possesso del titolo di laurea sono fatte sotto condizione del conseguimento del titolo nel termine indicato.

### **INGEGNERIA ELETTRICA**

Per iscriversi alla Laurea Specialistica in Ingegneria Elettrica è necessario il possesso di almeno uno dei seguenti requisiti curriculari:

- 1) Laurea appartenente alla Classe 9 o 10, conseguita presso una Università italiana.
- 2) Laurea quinquennale in Ingegneria (Tabella XXIX), conseguita presso una Università italiana.
- 3) Laurea o Laurea Specialistica, conseguita presso una Università italiana, con almeno 100 CFU riconoscibili di cui 90 CFU acquisiti nei settori scientifico disciplinari indicati fra le attività di base o caratterizzanti dal Regolamento della Laurea in Ingegneria Elettrica dell'Università di Bologna.
- 4) Titolo accademico finale conseguito all'estero dopo almeno 15 anni di scolarità.

### **INGEGNERIA ELETTRONICA**

Per iscriversi alla Laurea Specialistica in Ingegneria elettronica è necessario il possesso di almeno uno dei seguenti requisiti curriculari:

- 1) Laurea appartenente alla Classe 9 (Ingegneria dell'Informazione) conseguita presso un'Università italiana.
- 2) Laurea quinquennale in Ingegneria (Tabella XXIX) conseguita presso un'Università italiana.
- 3) Laurea o Laurea Specialistica conseguita presso un'Università italiana, e almeno 100 CFU acquisiti in un qualunque corso universitario nei settori scientifico-disciplinari indicati fra le attività di base o caratterizzanti dall'Ordinamento della Laurea in Ingegneria Elettronica dell'Università di Bologna, sede di Bologna.
- 4) Titolo accademico finale conseguito all'estero dopo almeno 15 anni di scolarità.

### **INGEGNERIA INFORMATICA**

Per iscriversi alla Laurea Specialistica in Ingegneria Informatica è necessario il possesso di almeno uno dei seguenti requisiti curriculari:



1. Laurea appartenente alla Classe 9 - Ingegneria della Informazione, conseguita presso una Università italiana.
2. Laurea quinquennale in Ingegneria (Tabella XXIX), conseguita presso una Università italiana.
3. Laurea o Laurea Specialistica, conseguita presso una Università italiana, e almeno 100 CFU acquisiti in un qualunque corso universitario (Laurea, Laurea Specialistica, Master Universitari di primo o secondo livello) nei settori scientifico-disciplinari indicati per le attività formative di base o caratterizzanti dal Regolamento della Laurea in Ingegneria Informatica dell'Università di Bologna.
4. Titolo accademico finale conseguito all'estero dopo almeno 15 anni di scolarità.

## INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI

Per iscriversi alla Laurea Specialistica in Ingegneria delle Telecomunicazioni è necessario il possesso di almeno uno dei seguenti requisiti curriculari:

1. Laurea appartenente alla Classe 9 - Ingegneria della Informazione, conseguita presso una Università italiana
2. Laurea quinquennale in Ingegneria (Tabella XXIX), conseguita presso una Università italiana
3. Laurea conseguita presso una Università italiana, e almeno 100 CFU acquisiti in un qualunque corso universitario (Laurea, Laurea Specialistica, Master Universitari di primo o secondo livello) nei settori scientifico-disciplinari indicati fra le attività di base e/o caratterizzanti dall'Ordinamento Didattico della Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni dell'Università di Bologna.
4. Titolo accademico finale conseguito all'estero dopo almeno 15 anni di scolarità.

### Opzioni

Lo studente già iscritto ai corsi di laurea tradizionali potrà concludere gli studi secondo l'ordinamento di appartenenza oppure optare per i corsi di laurea riformati esercitando il diritto di opzione entro il 31 ottobre 2002 e comunque entro 3 anni dall'attivazione dei nuovi ordinamenti.

In seguito all'opzione la carriera dello studente viene convertita in crediti in base alle tabelle di conversione approvate dai Consigli di corso di studio. Lo studente optante potrà sostenere gli esami del vecchio ordinamento fino al 31 ottobre 2002.

Il Consiglio di Facoltà determinerà le modalità di opzione nel corso dell'anno solare 2003, rese pubbliche dal sito della Facoltà.

### Svolgimento della carriera

Fino al conseguimento del titolo accademico, lo studente deve iscriversi senza soluzione di continuità a tutti gli anni di corso previsti dal percorso scelto.

L'iscrizione ad anni di corso successivi al primo avviene con il pagamento della prima rata di tasse, mediante avviso di pagamento che include la domanda. Le relative informazioni sono trasmesse e registrate solo su supporto informatico.

- **ISCRIZIONE TARDIVA.** La principale novità consiste nel fatto che l'iscrizione tardiva (dopo il 31 dicembre) non influisce più sulla normale progressione di carriera. In altre parole, chi ha titolo per iscriversi in corso, lo fa anche se paga la prima rata di tasse dopo il 31 dicembre. **Attenzione!** Sarà, però, assoggettata al pagamento di una **ulteriore** indennità di mora di euro 178,17. Resta fermo il principio per cui non si possono sostenere esami nella sessione dell'anno

accademico per il quale non si è rinnovata l'iscrizione e che tale iscrizione in corso non è valida ai fini di ottenere i benefici previsti da Bandi ARSTUD e Università.

– **ISCRIZIONE COME STUDENTE RIPETENTE.** In alcuni corsi di studio la normale progressione della carriera è condizionata dal superamento di sbarramenti didattici. In questi casi, lo studente che non riesca a superare tali sbarramenti è iscritto di nuovo allo stesso anno di corso come **ripetente** (questi sono gli unici casi possibili di ripetenza in anni intermedi)

– **ISCRIZIONE FUORI CORSO.** Si iscrive fuori corso lo studente che si è già iscritto a tutti gli anni di corso previsti dal percorso didattico scelto e che, nei corsi a frequenza obbligatoria, ha ottenuto tutte le attestazioni di frequenza.

### **Passaggi ad altro Corso di Studio (Alma Mater Studiorum-Università di Bologna)**

Lo studente può passare ad altro corso di studi dell'Università degli Studi di Bologna, presentando domanda alla Segreteria studenti, redatta su apposito modulo in marca da bollo, entro il 20 novembre 2002 per i corsi a libero accesso o nel periodo e con le modalità indicate nel bando di concorso per quelli a numero programmato.

Lo studente è tenuto al versamento della prima rata di tasse, qualora non sia stata già versata, dell'indennità di congedo e a regolarizzare eventuali posizioni debitorie

### **Trasferimenti ad altro Ateneo**

Lo studente può trasferirsi presentando domanda alla Segreteria studenti, redatta su apposito modulo in marca da bollo, entro il 20 novembre 2002, fatte salve eventuali diverse scadenze previste dai bandi limitatamente ai trasferimenti su corsi a numero programmato.

Lo studente non è tenuto al pagamento della prima rata di tasse per l'anno accademico successivo: È tenuto, invece, a versare un'indennità di congedo e a regolarizzare eventuali posizioni debitorie.

### **Decadenza**

Gli iscritti ai corsi di studio attivati con la riforma, decadono dalla qualità di studente e dagli studi precedentemente effettuati se non acquisiscono **almeno 30 crediti entro 5 anni solari successivi a quello dell'immatricolazione.** Inoltre, sono previsti ulteriori termini di decadenza differenziati per tipo di corso di studio.

\* Gli iscritti ai **corsi di laurea triennali** decadono se non ottengono tutti i crediti previsti per il conseguimento del titolo, ad eccezione di quelli riservati alla prova finale, entro gli ulteriori 6 anni solari;

\* Gli iscritti ai **corsi di laurea specialistica** decadono se non ottengono tutti i crediti previsti per il conseguimento del titolo, ad eccezione di quelli riservati alla prova finale, entro gli ulteriori 3 anni solari;

\* Gli iscritti ai **corsi di laurea specialistica a ciclo unico** decadono se non ottengono tutti i crediti previsti per il conseguimento del titolo, ad eccezione di quelli riservati alla prova finale, entro gli ulteriori 9 anni solari.

Tutti i termini sono incrementati di ulteriori 2 anni solari per lo studente lavoratore.

– **IMMATRICOLAZIONE E RICONOSCIMENTO DEI CREDITI PER STUDENTI DECADUTI.** Lo studente decaduto, qualora intenda iscriversi nuovamente a corsi di studio dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna è obbligato a immatricolarsi. Ha facoltà di richiedere che i crediti già acquisiti siano valutati dal Consiglio di Corso di studio ai fini di un possibile riconoscimento, parziale o completo.

### **Interruzioni di carriera**

Lo studente che non abbia rinnovato l'iscrizione per almeno un anno accademico, qualora in-

tenda proseguire gli studi, deve presentare apposita domanda di ricongiunzione della carriera ed è tenuto a versare, per ogni anno di interruzione, una tassa di ricognizione nella misura stabilita dagli Organi accademici.

Il versamento della tassa di ricognizione per un anno accademico in luogo dell'intera quota di iscrizione è dovuto per le domande prodotte a decorrere dal 1° gennaio dell'anno accademico successivo.

Gli anni di interruzione della carriera sono comunque computati ai fini della decadenza.

(Tali disposizioni si applicano anche a coloro che interrompono la carriera per iscriversi a corsi di studio all'estero al di fuori di progetti e convenzioni di collaborazione internazionale universitaria o ad Istituti di formazione militare italiani).

Lo studente già iscritto, che intenda proseguire gli studi in altro corso di studio di diverso livello dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna, prima di iscriversi al nuovo, deve interrompere gli studi in corso. Qualora lo stesso studente voglia riprendere in seguito gli studi interrotti, non è tenuto a versare la tassa di ricognizione.

Negli anni di interruzione, gli studenti non potranno compiere alcun atto di carriera relativamente al corso interrotto.

### **Rinuncia**

Gli studenti che non intendono continuare gli studi intrapresi hanno facoltà di rinunciare agli stessi, ancorché non si sia verificata la decadenza. La rinuncia deve essere manifestata con atto scritto, redatto su apposito modulo in marca da bollo o carta legale, senza alcuna condizione, termine o clausola che ne restringano l'efficacia. Essa sarà irrevocabile e lo studente, pertanto, non potrà far rivivere in avvenire la sua precedente carriera scolastica già estinta per effetto della rinuncia. Lo studente rinunciatario non ha diritto ad alcun rimborso di tasse già pagate.

### **Diritti e doveri dello studente**

L'Alma Mater Studiorum Università di Bologna assicura forme e strumenti di pubblicità dei procedimenti e delle decisioni assunte in merito alle carriere degli studenti.

L'Università, altresì, promuove la partecipazione degli studenti ai procedimenti relativi allo svolgimento della loro carriera.

Lo studente ha facoltà di sollecitare l'intervento del Garante d'Ateneo, nel caso in cui si ritenga lesi nei propri diritti o interessi.

In ogni caso, avverso i provvedimenti relativi alla carriera degli studenti, è ammesso ricorso giurisdizionale al Tribunale Amministrativo Regionale dell'Emilia-Romagna.

(art.18 - Nuovo Regolamento Studenti)

Gli studenti dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna durante il corso dei loro studi sono tenuti ad osservare comportamenti rispettosi della legge, dei regolamenti universitari, delle libertà e dei diritti di tutti i soggetti che svolgono la loro attività di lavoro o di studio all'interno delle strutture dell'Ateneo e ad astenersi dal danneggiamento dei beni di proprietà dell'Ateneo o di terzi, che anche temporaneamente vi si trovino.

Le violazioni delle norme di disciplina dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna comportano a carico dei trasgressori l'applicazione di provvedimenti disciplinari.

Nel caso di comportamenti degli studenti che possano integrare anche fattispecie di reato l'Alma Mater Studiorum Università di Bologna provvede tempestivamente ad informare l'Autorità Giudiziaria ed adotta i conseguenti provvedimenti previsti dalla legge.

(art.19 - Nuovo Regolamento Studenti)

## CALENDARIO

### CALENDARIO LEZIONI

Insegnamenti a svolgimento intensivo su 3 cicli didattici

**I ciclo:** 23 settembre 2002 - 7 dicembre 2002 (11 settimane)

**II ciclo:** 20 gennaio 2003 - 15 marzo 2003 (8 settimane)

**III ciclo:** 23 aprile 2003 - 17 giugno 2003 (8 settimane)

Corsi di laurea in Ingegneria Chimica, Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

**I ciclo** 23 settembre 2002 - 23 novembre 2002 (8 settimane + 1 di sospensione)

**II ciclo** 13 gennaio 2003 - 15 marzo 2003 (8 settimane + 1 di sospensione)

**III ciclo** 23 aprile 2003 - 17 giugno 2003 (8 settimane)

Corsi di laurea specialistici in Ing. Elettronica, Informatica e delle Telecomunicazioni

**I ciclo:** 14 ottobre 2002 - 7 dicembre 2002 (8 settimane)

**II ciclo:** 20 gennaio 2003 - 15 marzo 2003 (8 settimane)

**III ciclo:** 23 aprile 2003 - 17 giugno 2003 (8 settimane)

Corso di laurea specialistica in Ing. Elettrica

**I ciclo:** 23 settembre 2002 - 7 dicembre 2002 (11 settimane)

**II ciclo:** 20 gennaio 2003 - 15 marzo 2003 (8 settimane)

**III ciclo:** 23 aprile 2003 - 17 giugno 2003 (8 settimane)

Corso di laurea specialistica in Ing. Edile-Architettura

Insegnamenti a svolgimento intensivo su 2 cicli didattici

**I ciclo:** 23 settembre 2002 - 21 dicembre 2002

**II ciclo:** 3 marzo 2003 - 7 giugno 2003

**Vacanze pasquali:** 17 aprile 2003 - 22 aprile 2003

### CALENDARIO ESAMI DI PROFITTO

Per tutti gli esami dovranno essere fissati almeno 6 appelli, opportunamente distribuiti, in periodi liberi da lezioni;

- di questi almeno 2 devono essere fissati nel periodo immediatamente successivo la fine delle lezioni
- almeno 1 in ogni altro periodo non di lezioni

I periodi non di lezione distinti sono:

1. per i corsi distribuiti su 3 cicli:

- dicembre - gennaio
- marzo - aprile
- giugno - luglio
- settembre

2. per i corsi distribuiti su 2 cicli:

- gennaio - febbraio
- giugno - luglio
- settembre - ottobre

**Per i corsi dei primi due anni delle Lauree Triennali la Commissione Didattica di Facoltà ritiene che debba essere rispettato il principio della non sovrapposizione di lezioni ed esami; pertanto, per gli insegnamenti previsti in questi anni, non devono essere fissati appelli d'esame nei periodi di lezione.**

## CALENDARIO ESAMI DI LAUREA

### Per tutte le lauree Triennali

AA 2001/02

#### II SESSIONE

MERCOLEDÌ	9/10/2002
MERCOLEDÌ	13/11/2002
MERCOLEDÌ	11/12/2002

#### III SESSIONE

MERCOLEDÌ	12/2/2003
MERCOLEDÌ	19/3/2003

AA 2002/03

#### I SESSIONE

MARTEDÌ	17/6/2003
MERCOLEDÌ	23/7/2003

#### II SESSIONE

MARTEDÌ	7/10/2003
GIOVEDÌ	13/11/2003
MERCOLEDÌ	17/12/2003

#### III SESSIONE

MARTEDÌ	10/2/2004
MERCOLEDÌ	17/3/2004

### Per il CdLS in Ingegneria Edile-Architettura:

AA 2001/02

#### II SESSIONE

MERCOLEDÌ	23/10/2002
MERCOLEDÌ	11/12/2002

#### III SESSIONE

MERCOLEDÌ	12/2/2003
MERCOLEDÌ	19/3/2003

AA 2002/03

#### I SESSIONE

MARTEDÌ	17/6/2003
MERCOLEDÌ	23/7/2003



**Corso di laurea in**  
**Classe**  
**Facoltà**

**Ingegneria Chimica**  
**10 - Ingegneria industriale**  
**Ingegneria - Sede di Bologna**

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Giulio Cesare Sarti**

### *Obiettivi formativi qualificanti*

I laureati nel corso di laurea devono:

- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria industriale, chimica e di processo;
- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi delle scienze dell'ingegneria industriale in generale ed in modo approfondito quelli dell'ingegneria industriale chimica e di processo, nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere i problemi utilizzando metodi, tecniche e strumenti adeguati;
- essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per la progettazione e gestione di apparati, sistemi, processi;
- essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne ed interpretarne i dati;
- essere capaci di comprendere l'impatto delle soluzioni ingegneristiche nel contesto sociale e fisico-ambientale;
- conoscere le proprie responsabilità professionali ed etiche;
- conoscere i contesti aziendali e la cultura d'impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi;
- avere capacità relazionali e decisionali;
- essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, almeno nelle lingue italiana e inglese;
- possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze.

### *Obiettivi formativi specifici*

Obiettivo formativo del corso di studio è la preparazione di un ingegnere esperto nella conduzione, gestione e progettazione di impianti e processi nei quali, su scala industriale, si modificano composizione e/o proprietà fisiche della materia. L'obiettivo è perseguito attraverso l'esposizione agli aspetti metodologici e operativi delle scienze di base e dell'ingegneria industriale in generale e a quelli specifici del settore che sono incentrati su conoscenze di termodinamica applicata, moto dei fluidi, scambio termico e di materia, processi di separazione, reattoristica chimica e biochimica, impiantistica chimica ed analisi di rischio.

La preparazione è completata e integrata da esperienze di laboratorio, da adeguate conoscenze di lingua straniera e da elementi di cultura aziendale contemporanea forniti tramite seminari, lezioni e/o tirocinio.

Lo spettro di competenze ed il loro inquadramento in una visione di sistema rendono il laureato così formato in grado di rispondere alle diverse esigenze collegabili ai processi di trasformazione di interesse industriale, avendo anche attenzione agli aspetti di tutela ambientale e di sicurezza.

I laureati in ingegneria chimica potranno svolgere pertanto attività professionali in diversi

ambiti (quali progettazione, produzione, gestione ed organizzazione, attività tecnico-commerciale) sia nelle imprese manifatturiere o di servizi, sia nelle amministrazioni pubbliche, sia nella libera professione. In particolare, le professionalità dei laureati in ingegneria chimica sono funzionali ai seguenti sbocchi occupazionali principali:

- industrie del comparto chimico, alimentare, farmaceutico, biomedico, dell'energia e di processo in generale; aziende di produzione, trasformazione, trasporto e conservazione di sostanze e materiali con particolare riferimento ai materiali polimerici e ceramici; società di ingegneria, impiantistiche e di servizi ambientali; laboratori industriali; strutture tecniche della pubblica amministrazione deputate al governo dell'ambiente e della sicurezza; strutture pubbliche e private in cui si effettuino valutazioni di rischi di incidente rilevante connessi con sostanze pericolose.

ANNO 1°					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
Analisi matematica L A	6	Geometria e algebra L	6	Analisi matematica L B	6
Fondamenti di Chimica L con Laboratorio di Chimica (corso int.)	6+3	Fisica generale L A	6	Fisica generale L A	6
Informatica generale L	3	Chimica Organica L	6	Termodinamica applicata L	6
Lingua straniera: Inglese	3	Chimica Applicata L	3		

ANNO 2°					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
Meccanica dei solidi L	6	Fondamenti di ingegneria elettrica L	6	Costruzione di macchine per l'ingegneria chimica L	6
Fondamenti dell'ingegneria di processo L + Termodinamica dell'ingegneria chimica L (corso integrato)	3+6	Fluidodinamica e scambio termico L	9	Processi di scambio di materia e reattoristica chimica L	6
Fondamenti di chimica industriale L	3	Economia e organizzazione aziendale L	6	Macchine L	6
Laboratorio di calcolo numerico L	3				

**Corso di laurea in**  
**Classe**  
**Facoltà**

**Ingegneria Civile**  
**8 – Ingegneria Civile e Ambientale**  
**Ingegneria – sede di Bologna**

**Presidente del Consiglio di corso di laurea: Prof. Armando Brath**

### *Obiettivi formativi qualificanti*

I laureati in Ingegneria Civile dovranno:

– conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria;

– conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi delle scienze dell'ingegneria, sia in generale, sia in modo approfondito relativamente a quelli di una specifica area dell'ingegneria civile, ambientale e del territorio, nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere i problemi, utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati;



- essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per la progettazione di componenti, sistemi e processi;
- essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne e interpretarne i dati;
- essere capaci di comprendere l'impatto delle soluzioni ingegneristiche nel contesto sociale e fisico-ambientale;
- conoscere le proprie responsabilità professionali ed etiche;
- conoscere i contesti aziendali e la cultura d'impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi;
- conoscere i contesti contemporanei;
- avere capacità relazionali e decisionali;
- essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, in almeno una lingua dell'Unione Europea, oltre l'italiano;
- possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze.

I laureati in Ingegneria Civile potranno svolgere attività professionali in diversi ambiti, quali la progettazione assistita, la produzione, la gestione ed organizzazione, l'assistenza delle strutture tecnico-commerciali, sia nella libera professione che nelle imprese manifatturiere o di servizi e nelle amministrazioni pubbliche. In particolare, le professionalità dei laureati in Ingegneria Civile potranno essere definite in rapporto ai diversi ambiti applicativi tipici dell'ingegneria civile. A tal scopo i curricula del corso di laurea si potranno differenziare tra loro, al fine di approfondire di distinti ambiti applicativi.

I principali sbocchi occupazionali sono:

- area dell'ingegneria civile: imprese di costruzione e manutenzione di opere civili, impianti ed infrastrutture civili; studi professionali e società di progettazione di opere, impianti ed infrastrutture; uffici pubblici di progettazione, pianificazione, gestione e controllo di sistemi urbani e territoriali; aziende, enti, consorzi ed agenzie di gestione e controllo di sistemi di opere e servizi; società di servizi per lo studio di fattibilità dell'impatto urbano e territoriale delle infrastrutture;
- area dell'ingegneria ambientale e del territorio: imprese, enti pubblici e privati e studi professionali per la progettazione, pianificazione, realizzazione e gestione di opere e sistemi di controllo e monitoraggio dell'ambiente e del territorio, di difesa del suolo, di gestione dei rifiuti, delle materie prime e delle risorse ambientali, geologiche ed energetiche e per la valutazione degli impatti e della compatibilità ambientale di piani ed opere.

Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è pari almeno al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

### *Obiettivi formativi specifici*

Il Corso di Laurea in Ingegneria Civile si propone di formare figure professionali di tecnici in grado di svolgere attività rivolta alla progettazione, esecuzione, gestione e al controllo di opere civili di edilizia, di opere idrauliche, di infrastrutture, di sistemi di trasporto e di interventi sul territorio. La formazione è di tipo generale e ad ampio spettro e si propone di fornire le principali conoscenze di base e specifiche sui settori di riferimento dell'Ingegneria Civile.

I laureati del Corso di Laurea in Ingegneria Civile possono trovare un'ampia gamma di sbocchi occupazionali; in particolare in Enti pubblici, studi professionali, imprese ed aziende che richiedano capacità di gestione tecnico operativa del progetto, di progettazione di opere riconducibili a schemi ricorrenti e capacità di gestione e controllo dei sistemi territoriali.

È previsto un curriculum articolato in cinque orientamenti:

- Idraulica
- Rilevamento e controllo
- Infrastrutture viarie e trasporti
- Strutture
- Geotecnica

Di questi, l'orientamento Geotecnica non viene per il momento attivato.

I anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
Analisi Matematica L-A	6	Analisi Matematica L-B	6	Meccanica Razionale L	6
Geometria e Algebra L	6	Fisica generale L	9	Architettura Tecnica L	5
Chimica L	3	Tecnologia dei Materia e Chimica Applicata L	3	Geologia L	3
Disegno L	5			Laboratorio di Informatica e Linguaggi di Programmazione L	3
Lingua straniera: Inglese	3			Laboratorio di CAD L	3
(61 crediti)	23		18		20
II anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
Scienza delle Costruzioni L	9	Tecnica delle Costruzioni L-A <sup>(1)</sup>	5	Tecnica delle Costruzioni L-B <sup>(1)</sup>	4
Idraulica L	9	Topografia L-A <sup>(2)</sup>	4	Topografia L-B <sup>(2)</sup>	5
Fisica Tecnica Ambientale	4	Geotecnica L	9	Idrologia	3
		Legislazione delle opere pubbliche L	3	Economica L <sup>(3)</sup>	2
				Estimo L <sup>(3)</sup>	2
(59 crediti)	22		21		16

Note da (1) a (3): corsi integrati, con valutazione finale complessiva

Gli insegnamenti relativi al 3° anno di corso saranno attivati e resi noti nel prossimo anno accademico.

**Corso di studio:**

**Classe:**

**Facoltà:**

**Ingegneria dell'automazione  
9 - Ingegneria dell'Informazione  
Ingegneria - Sede di Bologna**

**Presidente del Consiglio di Corso di Studio: Prof. Ing. Alberto Tonielli**

*Obiettivi formativi del corso di laurea*

I laureati verranno a conoscenza degli aspetti metodologici e operativi delle Scienze di base e dell'Ingegneria, con privilegio degli aspetti specifici dell'ambito dell'Automazione senza trascurare gli aspetti generali. I laureati verranno a conoscenza degli strumenti fondamentali per il progetto di componenti, sistemi e processi di automazione. La preparazione sarà completata e integrata da esperienze di laboratorio, elementi di cultura aziendale contemporanea forniti tramite seminari, lezioni, e/o tirocinio, e da adeguate conoscenze di lingua straniera.

Gli ambiti professionali tipici del laureato in Ingegneria dell'Automazione sono le imprese

elettroniche, elettromeccaniche, spaziali, chimiche aeronautiche in cui sono sviluppate funzioni di dimensionamento e realizzazione di architetture complesse, di sistemi automatici, di processi e impianti per l'automazione che integrano componenti informatici, apparati di misura, trasmissione ed attuazione.

In tale contesto, le figure professionali che si intende preparare sono: da una parte, tecnici in possesso di conoscenze interdisciplinari nei settori della meccanica, dell'elettrotecnica e dell'automazione tali da consentire di concepire, progettare, realizzare e mettere in servizio sistemi di automazione per macchine, processi, impianti, prodotti e servizi; dall'altra, tecnici esperti nella progettazione, gestione e realizzazione di sistemi di acquisizione, elaborazione e controllo in tempo reale tipici dei sistemi di automazione basati su calcolatore.

I anno SEC					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
Analisi Matematica L-A	6	Analisi Matematica L-B	6	Elettronica L-A	6
Geometria e Algebra L-A	6	Fisica generale L-A	6	Fisica generale L-B	6
Fondamenti di Informatica L-A	6	Fondamenti di Informatica L-B	6	Meccanica Razionale	6
				Lingua straniera: Inglese	3

I anno IND					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
Analisi Matematica L-A	6	Analisi Matematica L-B	6	Elettronica L-A	6
Geometria e Algebra L-A	6	Fisica generale L-A	6	Fisica generale L-B	6
Fondamenti di Informatica L-A	6	Fondamenti di Informatica L-B	6	Meccanica Razionale	6
				Lingua straniera: Inglese	3

**Primo Anno (comune ai due indirizzi)**

Analisi matematica L-A  
 Analisi matematica L-B  
 Elettrotecnica L-A  
 Fisica generale L-A  
 Fisica generale L-B  
 Fondamenti di Informatica L-A  
 Fondamenti di Informatica L-B  
 Geometria e Algebra L-A  
 Meccanica Razionale L-A

**Mutuato da:**

Analisi Matematica L-A I  
 Analisi Matematica L-B I  
 Elettrotecnica L-A I  
 Fisica generale L-A I  
 Fisica generale L-B I  
 Fondamenti di Informatica L-A I  
 Fondamenti di Informatica L-B I  
 Geometria e Algebra L-A I  
 Meccanica Razionale L-A E

**Corso di studio:** **Ingegneria delle Telecomunicazioni**  
**Classe:** **9 – Ingegneria dell'Informazione**  
**Facoltà:** **Ingegneria – Sede di Bologna**

**Presidente del Consiglio di Corso di Studio: Prof. Giovanni Emanuele Corazza**

### *Obiettivi formativi del corso di laurea*

I laureati in Ingegneria delle Telecomunicazioni dovranno:

- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria;
- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi delle scienze dell'ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli dell'Ingegneria delle Telecomunicazioni nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere i problemi utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati;
- essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per la progettazione di componenti, sistemi, processi;
- essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne e interpretarne i dati;
- conoscere i contesti aziendali e la cultura d'impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi; avere capacità relazionali e decisionali;
- essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, oltre che in italiano anche in lingua inglese;
- possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze ed essere capaci di apprendere attraverso lo studio individuale.

La Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni si pone l'obiettivo specifico di formare figure professionali in grado di ricoprire ruoli tecnici e tecnico/organizzativi in contesti che richiedono la conoscenza degli aspetti metodologico-operativi delle scienze di base e dell'ingegneria, con privilegio degli aspetti specifici dell'ambito delle telecomunicazioni senza tralasciare gli aspetti generali.

I laureati verranno a conoscenza delle principali caratteristiche delle tecniche, degli apparati, dei sistemi e delle infrastrutture riguardanti l'acquisizione, l'elaborazione ed il trasporto delle informazioni e la loro utilizzazione in applicazioni e servizi di telecomunicazione.

La preparazione sarà completata e integrata da esperienze di laboratorio, elementi di cultura aziendale contemporanea forniti tramite seminari, lezioni, e/o tirocinio, e da adeguate conoscenze di lingua straniera.

Il profilo formativo del laureato in Ingegneria delle Telecomunicazioni consente di operare nei settori della progettazione, ingegnerizzazione, produzione, esercizio e manutenzione dei sistemi di telecomunicazioni, nonché in settori adiacenti quali quelli caratterizzanti la classe dell'Ingegneria dell'Informazione.

Gli ambiti professionali tipici per i laureati sono le imprese private e pubbliche manifatturiere e di servizi, le strutture tecnico-commerciali, le amministrazioni pubbliche, gli enti normativi e di controllo.

*Nota:* Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è pari almeno al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

Primo anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
Analisi Matematica L-A	6	Analisi Matematica L-B	6	Elettrotecnica L-A	6
Fondamenti di Informatica L-A	6	Fondamenti di Informatica L-B	6	Reti logiche L-A	6
Geometria e Algebra L-A	6	Fisica generale L-A	6	Fisica generale L-B	6
Lingua straniera: Inglese (3)					

Secondo anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
Analisi Matematica L-C	6	Fisica generale L-C	6	Circuiti Elettronici Digitali L	6
Matematica applicata L-A	6	Comunicazioni elettriche L-A	6	Comunicazioni elettriche L-B	6
Controlli automatici L-A	6	Circuiti Elettronici Analogici L	6	Propagazione L-A	6
Economia e organizzazione aziendale L-A	6				

Terzo anno: percorso generale (versione transitoria A.A. 2002-2003)					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
Sistemi di telecomunicazione L-A	6	<i>Modulo di percorso III.2 scelto secondo le regole di Tabella O</i>		<i>Modulo di percorso III.4 scelto secondo le regole di Tabella O</i>	
Reti di telecomunicazioni L-A	6	<i>Modulo di percorso III.3 scelto secondo le regole di Tabella O</i>			
Economia e organizzazione aziendale L-A	7				
<i>Modulo di percorso III.1 scelto secondo le regole di Tabella O</i>					
<i>Moduli a scelta D (si veda Tabella S per alcune scelte consigliate) (9 CFU)</i>					
<i>Tirocinio (F 9) oppure l'insieme di Laboratorio di Telecomunicazioni L-A (F 3) e di uno o più moduli della Tabella F</i>					
Prova finale E 6					

Terzo anno: percorso applicativo (versione transitoria A.A. 2002-2003)					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
Sistemi di telecomunicazione L-A	6	<i>Modulo di percorso III.2 scelto secondo le regole di Tabella O</i>		<i>Modulo di percorso III.4 scelto secondo le regole di Tabella O</i>	
Reti di telecomunicazioni L-A	6	<i>Modulo di percorso III.3A scelto secondo le regole di Tabella O</i>			
Economia e organizzazione aziendale L-A	6	<i>Modulo di percorso III.3A scelto secondo le regole di Tabella O</i>			
<i>Modulo di percorso III.1 scelto secondo le regole di Tabella O</i>					
<i>Moduli a scelta D (si veda Tabella S per alcune scelte consigliate) (9 CFU)</i>					
<i>Tirocinio (F 9) oppure l'insieme di Laboratorio di Telecomunicazioni L-A (F 3) e di uno o più moduli della Tabella F</i>					
Prova finale E 6					

Tabella F			
Affidabilità e controllo di qualità		Terzo ciclo	6
Laboratorio di creazione d'impresa		Secondo ciclo	6
Politica tecnologica e della ricerca dell'unione europea		Terzo ciclo	6
Laboratorio di ricerca operativa L-A		Secondo ciclo	3
Laboratorio di calcolo numerico		Primo ciclo	3
Economia dei mercati e analisi degli indici economici		Primo ciclo	3
Economia dell'ICT		Primo ciclo	3
Lingua Inglese L-B			3

Tabella O

Tabella O			
Percorso generale			
Questo percorso è strutturato in modo da fornire gli approfondimenti nelle materie di base necessari alla successiva Laurea specialistica.			
III.1	Geometria e Algebra L-B	primo ciclo	3
III.2	Analisi matematica L-D	secondo ciclo	6
III.3	Campi elettromagnetici L-B	secondo ciclo	6
III.4	Trasmissione numerica L-A Mutua da Trasmissione numerica 2° modulo	terzo ciclo	6
Percorso applicativo			
III.1	Laboratorio di Telecomunicazioni L-B	primo ciclo	3
III.2	Campi elettromagnetici L-A	secondo ciclo	6
III.3	Sistemi di telecomunicazione L-B oppure Reti di telecomunicazioni L-B	secondo ciclo	6
III.4	Microonde L-A oppure Antenne L-A	terzo ciclo	6

Tabella S

## Insegnamenti consigliati per materie a scelta (tipologia D)

Tabella S			
Insegnamenti consigliati per materie a scelta (tipologia D)			
Percorso generale			
Questo percorso è strutturato in modo da fornire gli approfondimenti nelle materie di base necessari alla successiva Laurea specialistica.			
	Fisica generale L-D	primo ciclo	6
	Misure elettroniche L-A	secondo ciclo	6
	Sistemi di telecomunicazione L-B	secondo ciclo	6
	Reti di telecomunicazioni L-B	secondo ciclo	6
	Identificazione dei modelli e analisi dei dati L-A	terzo ciclo	6
	Microonde L-A	terzo ciclo	6
	Antenne L-A	terzo ciclo	6
	Fondamenti di Ricerca operativa L-A	secondo ciclo	3
	Fondamenti di Chimica L-A	primo ciclo	6
	Calcolo Numerico L-A	secondo ciclo	3
Percorso applicativo			
	Analisi matematica L-D	primo ciclo	6
	Geometria ed algebra L-B	primo ciclo	3
	Calcolo Numerico L-A	secondo ciclo	3
	Fondamenti di Chimica L-A	primo ciclo	6
	Laboratorio di informatica L-A	primo ciclo	6
	Misure elettroniche L-A	secondo ciclo	6
	Sistemi di telecomunicazione L-B	secondo ciclo	6
	Reti di telecomunicazioni L-B	secondo ciclo	6
	Identificazione dei modelli e analisi dei dati L-A	terzo ciclo	6
	Trasmissione numerica L-A	terzo ciclo	6
	Microonde L-A	terzo ciclo	6
	Antenne L-A	terzo ciclo	6
	Telecomunicazioni L-B	primo ciclo	6
	Fondamenti di Ricerca operativa L-A	secondo ciclo	3
	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici L	primo ciclo	3
	Fisica generale L-D		

Si riporta per completezza la versione a regime del terzo anno

Terzo anno (versione a regime)					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
Sistemi di telecomunicazione L-A	6	Calcolatori elettronici L-A	6	<i>Modulo di percorso III.4 scelto secondo le regole di Tabella O</i>	
Reti di telecomunicazioni L-A	6	<i>Modulo di percorso III.3 scelto secondo le regole di Tabella O</i>			
<i>Modulo di percorso III.1 scelto secondo le regole di Tabella O</i>					
<i>Modulo di percorso III.2 scelto secondo le regole di Tabella O</i>					
<i>Moduli a scelta D (si veda Tabella S per alcune scelte consigliate) (9 CFU)</i>					
<i>Tirocinio (F 9) oppure l'insieme di Laboratorio di Telecomunicazioni L-A (F 3) e di uno o più moduli della Tabella F</i>					
Prova finale E 6					

**Corso di laurea in:**

**Ingegneria Edile**

**Classe:** 4 – Scienze dell'architettura e dell'ingegneria edile

**Facoltà:** Ingegneria – Sede Cesena

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea:** Prof. Carlo Monti

#### *Obiettivi formativi qualificanti*

Il corso di laurea in Ingegneria Edile ha l'obiettivo di assicurare allo studente un'adeguata padronanza di metodi e contenuti scientifici generali, nonché l'acquisizione di specifiche conoscenze professionali nel settore edile. I laureati in Ingegneria Edile devono:

- conoscere adeguatamente la storia dell'architettura e dell'edilizia, gli strumenti e le forme della rappresentazione, gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tali conoscenze per interpretare e descrivere problemi dell'architettura e dell'edilizia;
- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi relativi agli ambiti disciplinari caratterizzanti il corso di studio seguito ed essere in grado di identificare, formulare e risolvere i problemi dell'architettura e dell'edilizia utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati;
- conoscere adeguatamente gli aspetti riguardanti la fattibilità tecnica ed economica, il calcolo dei costi e il processo di produzione e di realizzazione dei manufatti edilizi;
- essere in grado di utilizzare le tecniche e gli strumenti della progettazione dei manufatti edilizi;
- essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, in almeno una lingua dell'Unione Europea, oltre l'italiano.

#### *Obiettivi formativi specifici*

I laureati in Ingegneria Edile svolgeranno attività professionali in diversi ambiti, concorrendo e collaborando alle attività di programmazione, progettazione e attuazione degli interventi di or-

ganizzazione e trasformazione dell'ambiente costruito alle varie scale.

Essi potranno esercitare tali competenze: presso enti, aziende pubbliche e private, società di ingegneria, industrie di settore e imprese di costruzione, oltre che nella libera professione e nelle attività di consulenza.

Il corso di studio è orientato alla formazione di una figura professionale in grado di conoscere e comprendere i caratteri tipologici, strutturali e tecnologici di un organismo edilizio nelle sue componenti materiali e costruttive, in rapporto al contesto fisico-ambientale, socio-economico e produttivo dell'intervento di trasformazione insediativa.

Le competenze specifiche del laureato riguardano le attività connesse con la progettazione, le attività di rilevamento di aree e manufatti edilizi, l'organizzazione e la conduzione del cantiere edile, la gestione e valutazione economica dei processi edilizi, la direzione tecnico-amministrativa dei processi di produzione industriale di materiali e componenti per l'edilizia, nonché della manutenzione dei manufatti. Il laureato in Ingegneria Edile sarà in grado di riconoscere e comprendere un organismo, in rapporto alle sue origini e successive trasformazioni storiche ed al contesto insediativo di appartenenza, e di rilevarlo analizzando le caratteristiche dei materiali che lo compongono e il regime statico delle strutture. Le competenze specifiche del laureato riguardano la definizione, propedeutica al progetto, degli interventi mirati all'arresto dei processi di degrado e di dissesto di manufatti edilizi e contesti ambientali, all'eliminazione e contenimento delle loro cause, nonché alla direzione tecnica dei processi tecnico-amministrativi e produttivi connessi.

PRIMO ANNO					
N	Esame	Insegnamento	CFU	A.F.	Ciclo
1	Analisi Matematica L -A	1 Analisi Matematica L -A	6	A	1
2	Analisi Matematica L -B	2 Analisi Matematica L -B	6	C	2
3	Fisica generale L	3 Fisica generale L	6	A	3
4	Chimica L	4 Chimica L	5	A	1
5	Disegno I - L	5 Fondamenti e applicazioni di geometria descrittiva L	4	A	2
6	Tecnologia dell'architettura L	6 Disegno edile L	4	A	3
7	Normative urbanistiche e delle Opere Pubbliche L	7 Elementi di architettura tecnica L	4	B	3
8	Storia architettura L	8 Elementi di tecnologia dell'architettura L	4	B	3
		9 Legislazione delle opere pubbliche e dell'edilizia L	4	C	1
		10 Diritto urbanistico L/Diritto dell'ambiente L(integrati)	4	C	2
		11 Storia delle tecniche architettoniche L	4	A	1
		12 Storia architettura L	4	A	2
	Laboratorio di Disegno di Architettura L		2	A	2-3
	Lingua straniera: Inglese		3		
		<b>Totale Crediti Formativi I anno</b>	<b>60</b>		

SECONDO ANNO					
N	Esame	Insegnamento	CFU	A.F.	Ciclo
9	Disegno II -L	13 Disegno automatico L	4	A	2
		14 Disegno dell'architettura L	4	A	3
10	Topografia e fotogrammetria L	15 Elementi di topografia L	4	B	1
		16 Elementi di fotogrammetria L	4	B	2
11	Scienza delle costruzioni L	17 Statica L	6	B	1
		18 Elementi di scienza delle costruzioni L	6	B	2
12	Cantieri e produzione edilizia L	19 Tecnologia della produzione edilizia e sicurezza L	4	B	2
		20 Organizzazione del cantiere e sicurezza L	4	B	3
13	Impianti tecnici L	21 Fisica tecnica ambientale L	5	B	1
		22 Impianti tecnici L	5	B	2
14	Tecnica urbanistica L	23 Tecnica urbanistica L	4	B	3
15	Geologia applicata L	24 Geologia applicata L	6	A	3
	Laboratorio CAD L		2	A	2-3
		<b>Totale Crediti Formativi II anno</b>	<b>58</b>		



TERZO ANNO					
N	Esame	Insegnamento	CFU	A.F.	Ciclo
15	Tecnica delle costruzioni L	25 Elementi di tecnica delle costruzioni L	6	B	1
16	Elementi di geotecnica L	26 Consolidamento degli edifici L	6	B	2
17	Tecnologia e produzione edilizia L	27 Elementi di geotecnica L	6	C	2
18	Tecnologia dei materiali e chimica applicata L	28 Estimo e contabilità dei lavori L	4	B	1
		29 Tecnologia della prod. edil.2 e secur. L	4	B	2
		30 Tecnologia dei materiali e chimica applicata L	4	C	1
19/A	<b>Indirizzo A</b> Architettura tecnica L	<b>Totale crediti ins. obbl. III anno</b>	<b>30</b>		
	<b>Indirizzo B</b>	31 Architettura tecnica L	4	B	1
19/B	Rilievo dell'architettura	32 Progettazione integrale L	4	B	2
19/C	Recupero e conservazione degli edifici L	31 Rilievo dell'architettura L	4	A	1
		32 Recupero e conservazione degli edifici L	4	B	2
	<b>Attività a scelta dello studente</b>	<b>Totale crediti di indirizzo III anno</b>	<b>8</b>		
		33 Fotogrammetria L	5	D	3
		34 Cartografia tematica e automatica L	4	D	3
		33 Elementi di progettazione edile L	4	D	3
		34 Composizione architettonica L	5	D	3
20/A	Fotogrammetria e cartografia L	<b>Totale crediti attività a scelta</b>	<b>9</b>		
20/B	Progettazione architettonica L		<b>6</b>		
	Prova finale		<b>9</b>		
	Tirocinio (200 ore)		<b>9</b>		
		<b>Totale Crediti Formativi III anno</b>	<b>62</b>		
		<b>Totale Crediti Formativi CdS</b>	<b>180</b>		

Corso di laurea in  
 Classe  
 Facoltà

Ingegneria Elettrica  
 10 - Ingegneria Industriale  
 Ingegneria - Sede di Bologna

Presidente del Consiglio di Corso di Studio: Prof. Ugo Reggiani

### Obiettivi formativi qualificanti

I laureati in Ingegneria Elettrica dovranno:

- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria;
- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi delle scienze dell'ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli di una specifica area dell'ingegneria industriale, nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere i problemi utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati;
- essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per la progettazione di componenti, sistemi, processi;
- essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne ed interpretarne i dati;
- essere capaci di comprendere l'impatto delle soluzioni ingegneristiche nel contesto sociale e fisico-ambientale;
- conoscere le proprie responsabilità professionali ed etiche;
- conoscere i contesti aziendali ed e la cultura d'impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi;
- conoscere i contesti contemporanei;
- avere capacità relazionali e decisionali;
- essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, in almeno una lingua

dell'Unione Europea, oltre l'italiano;

- possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze.

Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è pari almeno al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico

### Obiettivi formativi specifici

La laurea triennale deve dare una preparazione tecnico-professionale nell'ambito elettrico con buone conoscenze ingegneristiche di base e specifiche conoscenze elettriche tali da rendere il laureato idoneo a ricoprire posti di rilievo nelle industrie per la produzione di apparecchiature e macchinari elettrici e sistemi elettronici di potenza, per l'automazione industriale e la robotica; imprese ed enti per la produzione, trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica; imprese ed enti per la progettazione, la pianificazione, l'esercizio ed il controllo di sistemi elettrici per l'energia e di impianti e reti per i sistemi elettrici di trasporto e per la produzione e gestione di beni e servizi automatizzati.

I Anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
Analisi Matematica L-A	6	Analisi Matematica L-B	6	Meccanica Razionale L	6
Fondamenti di Informatica L	9	Laboratorio di Informatica L	3	Fondamenti di Chimica L	6
Geometria e Algebra L	6	Fisica Generale L-A	6	Fisica Generale L-B	6
		Lingua straniera: inglese	3		
		<b>Crediti Formativi</b>	<b>57</b>		

II Anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
Elettrotecnica L	11	Elettronica L	6	Circuiti elettronici di potenza L	6
Affidabilità e Statistica per i Sistemi Elettrici L	5	Fisica Tecnica L	9	Macchine L	5
Meccanica delle Macchine e dei Materiali L (corso integrato)	9	Economia dell'Impresa e Valutazione degli Investimenti L	5	Elementi di Controlli Automatici L	6
		<b>Crediti Formativi</b>	<b>62</b>		

III Anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
Impianti Elettrici con Elementi di Sistemi Elettrici per l'Energia L (corso integrato)	11	Misure Elettriche e Laboratorio L			11
Macchine Elettriche L	6	Azionamenti Elettrici L	6	Tirocinio L	6
Componenti e Tecnologie Elettriche L	6				
		<b>Crediti Formativi</b>	<b>61</b>		
Moduli a scelta					9
Prova Finale L					6
		<b>Totale Crediti Formativi</b>	<b>180</b>		

## Moduli a scelta

III Anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
disciplina	CFU	disciplina	CFU	disciplina	CFU
		Qualità dell'Energia Elettrica L	6	Produzione Distribuita dell'Energia Elettrica L	3
		Compatibilità Elettromagnetica L	6	Misure per la Sicurezza L	3
		Scienza e Tecnologia dei Materiali Elettrici L	6	Attuatori Elettrici L	3
		Costruzioni Elettromeccaniche L	3		

Lo studente deve seguire moduli a scelta per un complessivo di 9 crediti sostenendo le relative prove di verifica. I moduli sopra indicati sono consigliati dal Corso di Laurea. I corsi a scelta possono però essere scelti anche al di fuori di quelli indicati dal Consiglio di Corso di Studi. In tal caso occorrerà presentare un piano di studi individuale e i corsi richiesti saranno accreditati secondo la richiesta fino ad un massimo di 9 crediti complessivi.

**Corso di laurea in**  
**Classe**  
**Facoltà**

**Ingegneria Elettronica**  
**9 - Ingegneria dell'Informazione**  
**Ingegneria - Sede di Bologna**

**Presidente del Consiglio di Corso di Studio: Prof. Massimo Rudan**

### *Obiettivi formativi qualificanti*

I laureati in Ingegneria elettronica dovranno:

- Conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre Scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'Ingegneria.
- Conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi delle Scienze dell'Ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli dell'Ingegneria elettronica, nella quale saranno capaci di identificare, formulare e risolvere i problemi utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati.
- Essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per la progettazione di componenti, sistemi, processi.
- Essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne e interpretarne i dati.
- Conoscere i contesti aziendali e la cultura d'Impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi; avere capacità relazionali e decisionali.
- Essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, oltre che in italiano, anche in inglese.
- Possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze, ed essere capaci di apprendere attraverso lo studio individuale.

Il tempo riservato allo studio personale o a altre attività formative di tipo individuale è pari almeno al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

### *Obiettivi formativi specifici*

I laureati verranno a conoscenza degli aspetti metodologici e operativi delle Scienze di base

e dell'Ingegneria, con privilegio degli aspetti specifici dell'ambito dell'Elettronica senza tralasciare gli aspetti generali. I laureati verranno a conoscenza degli strumenti fondamentali per il progetto di componenti, sistemi e processi.

La preparazione sarà completata e integrata da esperienze di laboratorio, elementi di cultura aziendale contemporanea forniti tramite seminari, lezioni, e/o tirocinio, e da adeguate conoscenze di lingua straniera.

Il profilo formativo del laureato in Ingegneria elettronica consente di operare nei settori della progettazione, sviluppo, ingegnerizzazione, produzione, esercizio e manutenzione dei sistemi elettronici, nonché in settori adiacenti quali quelli caratterizzanti la Classe dell'Ingegneria dell'Informazione.

Gli ambiti professionali tipici del laureato in Ingegneria elettronica sono le Aziende di progettazione e produzione di componenti, apparati e sistemi elettronici ed optoelettronici, le Industrie manifatturiere, i settori delle Amministrazioni pubbliche e delle Imprese di servizi che applicano tecnologie e infrastrutture elettroniche per il trattamento, la trasmissione e l'impiego di segnali in ambito civile, industriale e dell'informazione.

### Piano didattico AA 2002-2003

1° anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
Analisi matematica L-A - Matarasso	6	Analisi matematica L-B - Matarasso	6	Elettrotecnica L-A - Ghigi	6
Fondamenti di informatica L-A A. Ciampolini	6	Fondamenti di informatica L-B Lodolo (Art. 100)	6	Reti logiche L-A (Art. 100)	6
Geometria e Algebra L-A - Ferri	6	Fisica generale L-A - Massa	6	Fisica generale L-B - Massa	6
Lingua straniera: inglese (tipo E, 3 CFU)					3

2° anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
Controlli automatici L-A - Guidorsi	6	Fisica generale L-C - Uguzzoni	6	Circuiti elettronici digitali L-A - Riccò	6
Analisi matematica L-C - Matarasso	6	Comunicazioni elettriche L-A - Chiani	6	Comunicazioni elettriche L-B Dardari (supplenza)	6
Matematica applicata L-A Abbati Marescotti	6	Circuiti elettronici analogici L-A A. Gnudi	6	Propagazione L-A Degli Esposti (supplenza)	6
Economia e organizzazione aziendale L-A Longo	6				3

3° anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
Microelettronica L-A - Rudan	3	Elettronica applicata L-A - Rovatti	6	Progetto di sistemi elettronici L-A - Guerrieri (Il corso è usato anche nel VO come seconda parte di Architetture dei sistemi integrati)	6
Progetto di circuiti analogici L-A - Masetti	6				
Calcolatori elettronici L-A (*)	6				
Economia ed organizzazione aziendale L-A (**) Longo (è lo stesso corso del secondo anno)	7				3
Due moduli di percorso, per un totale di 12 CFU, da scegliersi nella Tabella P (v. Nota 1). Attività di tipo D ("A scelta dello Studente") per un totale di 9 CFU (v. Nota 2). Attività di tipo F ("Altre attività"), per un totale di 9 CFU, da scegliersi dalla Tabella F. Prova finale (tipo E, 6 CFU)					

Nota 1: Per ottenere un percorso completamente accreditato per l'accesso alla Laurea specialistica, lo Studente deve acquisire tutti i 12 CFU dei moduli di percorso scegliendo i moduli del percorso generale. Questi sono indicati con la sigla **ACCR** in Tabella P.

Nota 2: Si suggerisce di scegliere fra i moduli elencati nelle Tabelle D1 e D2. La Tabella D1 elenca moduli attivati nella Laurea in Ingegneria elettronica o mutuati da altri Corsi di Studio, la Tabella D2 elenca moduli attivati nella Laurea Specialistica in Ingegneria elettronica o mutuati da altri Corsi di Studio. In particolare, agli Studenti che intendono accedere alla Laurea Specialistica e desiderano acquisire CFU dalla Tabella D1, si suggerisce di scegliere fra i moduli indicati con la sigla **SP**. Agli Studenti che desiderano acquisire CFU dalla Tabella D2 si suggerisce di scegliere fra i moduli associati al percorso d'interesse della Laurea Specialistica. Le scelte fatte non sono comunque vincolanti per la futura scelta di un percorso della Laurea Specialistica.

(\*) Non attivato nell'AA 2002-2003.

(\*\*) Attivato solo nell'AA 2002-2003.

Tabella P

ACCR	Analisi matematica L-D	6	primo ciclo
ACCR	Campi elettromagnetici L-B	6	secondo ciclo
-	Fondamenti di Chimica L-A	6	primo ciclo
-	Misure elettroniche L-A	6	secondo ciclo

Tabella F

Laboratorio di creazione d'impresa L-A	6	secondo ciclo
Affidabilità e controllo di qualità L-A	6	terzo ciclo
Politica tecnologica e della ricerca nell'Unione Europea L-A	6	terzo ciclo
Sistemi di gestione integrati L-A	6	secondo ciclo
Tirocinio L	9	-
Laboratorio di Elettronica L-A	3	terzo ciclo
Economia dei mercati e analisi degli indici economici L-A	3	primo ciclo
Economia dell'ICT L-A	3	primo ciclo
Laboratorio di Telecomunicazioni L-A (*) mutuato da altro CL	3	-
Laboratorio di Automazione L-A (*) mutuato da altro CL	3	-
Laboratorio di Ricerca operativa L-A (*) mutuato da altro CL	3	-
Laboratorio di Calcolo numerico L-A (*) mutuato da altro CL	3	-

(\*) Mutuato da altro CL. La collocazione nel ciclo è stabilita dal CL da cui il modulo è mutuato.

Tabella D<sub>1</sub>

SP	Fisica generale L-D	6	primo ciclo
SP	Geometria e Algebra L-B	3	primo ciclo
SP	Calcolo numerico L-A	3	primo ciclo
SP	Fondamenti di Chimica L-B	6	secondo ciclo
-	Campi elettromagnetici L-A (*) mutuato da altro CL	6	-
-	Ricerca operativa L-A (*) mutuato da altro CL	3	-
-	Fondamenti della misurazione L-A	6	primo ciclo

(\*) Mutuato da altro CL. La collocazione nel ciclo è stabilita dal CL da cui il modulo è mutuato.

*Moduli della Laurea Specialistica in Ingegneria elettronica, o mutuati da altri Corsi di Laurea dell'Ingegneria dell'Informazione, sede di Bologna, che possono essere anticipati come moduli di tipo D ("a scelta libera") della Laurea.*

Tabella D<sub>2</sub>

Percorso della Laurea Specialistica	Modulo	CFU
Sistemi elettronici per le telecomunicazioni mobili	Laboratorio di elettronica dei sistemi digitali LS	6
Sistemi elettronici per le telecomunicazioni a larga banda	Sistemi di telecomunicazione L-A (*) mutuato da altro CL	6
Sistemi elettronici per l'automazione	Controlli automatici L-B (*) mutuato da altro CL oppure Elettronica industriale LS	6
Sistemi elettronici sensoriali	Elettronica dello stato solido LS-A	6
Sistemi elettronici per l'elaborazione dell'informazione	Metodi numerici per la grafica LS	6
Sistemi elettronici per applicazioni biomediche	Strumentazione biomedica LS - Avanzolini (mutuato dal VO, Strumentazione biomedica) oppure Bioingegneria LS	6
Microelettronica	Fisica generale L-D	6
Strumentazione	Sensori a stato solido LS	6

(\*) Mutuato da altro CL.

**Corso di studio:**  
**Classe:**  
**Facoltà:**

**Ingegneria Gestionale**  
**10 - Ingegneria Industriale**  
**Ingegneria - Sede di Bologna**

**Presidente del Consiglio di Corso di Studio: Prof. Andrea Zanoni**

*Obiettivi formativi del corso di laurea*

I laureati in Ingegneria Gestionale devono:

- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria;
- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi delle scienze dell'ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli specifici dell'ingegneria gestionale nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere i problemi utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati;
- essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per lo studio di componenti, sistemi, processi;
- essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne e interpretarne i dati;
- essere capaci di comprendere l'impatto delle soluzioni ingegneristiche nel contesto sociale e fisico-ambientale;
- conoscere le proprie responsabilità professionali ed etiche;
- conoscere i contesti aziendali e la cultura d'impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi;
- conoscere i contesti contemporanei;
- avere capacità relazionali e decisionali;
- essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, in almeno una lingua dell'Unione Europea, oltre l'italiano;
- possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze.

La laurea in Ingegneria Gestionale si pone l'obiettivo specifico di formare figure professionali in grado di ricoprire ruoli organizzativi e manageriali per i quali siano richieste competenze di base di natura tecnologica, con particolare riferimento all'analisi e gestione dei processi di produzione e logistici. In particolare, le funzioni che il laureato in Ingegneria Gestionale deve sapere svolgere, dimostrando di possedere competenze distintive rispetto agli altri laureati, riguardano la gestione delle strutture produttive e logistiche a base tecnologica, nelle loro componenti fisiche, organizzative e informative.

I profili professionali e i compiti svolti in questi campi sono ampi, comprendendo in particolare i ruoli per cui sono richieste competenze distintive nel saper affrontare, con conoscenze economiche e gestionali, problemi caratterizzati da vincoli e opportunità di natura tecnologica. Queste situazioni si manifestano nella gestione dei processi produttivi e logistici, e dei collegati flussi informativi, con particolare attenzione ai casi in cui è necessario ottimizzare l'uso delle risorse fisiche, finanziarie e umane, assicurare la qualità e la sicurezza dei prodotti e delle attività, analizzare le problematiche connesse all'impatto e ai vincoli ambientali, esaminare l'opportunità di adottare nuove tecnologie valutandone le dimensioni organizzative e competitive.

Conseguentemente, la laurea in Ingegneria Gestionale ha l'obiettivo di fornire agli allievi le conoscenze di base relative alla struttura e al funzionamento di diverse tipologie di sistemi produttivi e logistici, ai fondamenti delle principali tecnologie industriali, agli aspetti economici e organizzativi collegati; conoscenze e capacità di modellizzazione dei processi produttivi e logi-

stici, di identificazione e misura delle loro prestazioni, di pianificazione e implementazione delle azioni di miglioramento, dei supporti informativi e informatici, di progettazione e gestione dei sistemi produttivi e logistici.

I principali sbocchi occupazionali comprendono i settori manifatturieri e della trasformazione industriale, i settori dei servizi tradizionali (trasporti, distribuzione, gestione del territorio, ecc.), i settori dei servizi avanzati ad alto valore aggiunto (consulenza direzionale, informatica, telecomunicazioni, ecc.), l'intero settore della Pubblica Amministrazione. In particolare, il laureato in Ingegneria Gestionale è destinato a operare nelle aree dell'approvvigionamento e gestione dei materiali, nell'organizzazione e gestione della produzione, nell'organizzazione e automazione dei sistemi produttivi e nella logistica.

Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è pari almeno al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

1° anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
Analisi matematica L-A	6	Analisi matematica L-B	6	Matematica applicata L	6
Economia e organizzazione aziendale L-A + L-B (corso integrato)	12	Fondamenti di Informatica L-A	6	Fondamenti di informatica L-B	6
Geometria e algebra L	6	Fisica generale L-A	6	Fisica generale L-B	6
		<b>Totale Crediti Formativi</b>			

2° anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
Meccanica applicata alle macchine L	6	Controlli automatici L	6	Fondamenti di ricerca operativa L	6
Fisica tecnica L	5	Macchine L	6	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici L	5
Elettrotecnica L (2)	6	Impianti Industriali L-A	6	Impianti industriali L-B	5
Matematica applicata L (1)					
Sistemi di controllo di gestione L	6	Lingua straniera: inglese	3		
		<b>Totale Crediti Formativi</b>			

(1) Attivato anche al Secondo anno per gli studenti che non l'abbiano già frequentato.

(2) Attivato solo per gli studenti che non l'abbiano già frequentato.

**Corso di studio:**

**Classe:**

**Facoltà:**

**Ingegneria dei Processi Gestionali**

**9 - Ingegneria dell'Informazione**

**Ingegneria - Sede di Bologna**

**Presidente del Consiglio di Corso di Studio: Prof. Alessandro Grandi**

*Obiettivi formativi del corso di laurea*

I laureati in Ingegneria dei Processi Gestionali devono:

- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria;
- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi delle scienze dell'ingegneria, sia

- in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli specifici dell'ingegneria gestionale, nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere i problemi utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati;
- essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per lo studio di componenti, sistemi, processi;
  - essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne e interpretarne i dati;
  - essere capaci di comprendere l'impatto delle soluzioni ingegneristiche nel contesto sociale e fisico-ambientale;
  - conoscere le proprie responsabilità professionali ed etiche;
  - conoscere i contesti aziendali e la cultura d'impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi;
  - conoscere i contesti contemporanei;
  - avere capacità relazionali e decisionali;
  - essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, in almeno una lingua dell'Unione Europea, oltre l'italiano;
  - possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze.

La laurea in Ingegneria dei Processi Gestionali si pone l'obiettivo specifico di formare figure professionali in grado di ricoprire ruoli organizzativi e manageriali in contesti che richiedono competenze di base di natura tecnologica, con particolare riferimento all'analisi e alla gestione dei processi gestionali aziendali, dei collegati flussi informativi e delle tecnologie informatiche e telematiche abilitanti.

I profili professionali e i compiti svolti comprendendo in via elettiva i ruoli per cui sono richieste competenze distintive nel saper affrontare, con conoscenze economiche e gestionali, problemi di organizzazione, progettazione e gestione dei processi di lavoro e dei flussi informativi aziendali, in contesti caratterizzati da vincoli e opportunità di natura tecnologica. Conseguentemente, la laurea in Ingegneria dei Processi Gestionali ha l'obiettivo di fornire agli allievi la conoscenza delle problematiche della gestione aziendale nei principali ambiti funzionali, sia in generale sia con riferimento all'interazione tra scelte gestionali e scelte tecnologiche. In questo ambito, in particolare, vengono approfondite le conoscenze relative alle tecnologie dell'informazione e della comunicazione.

I principali sbocchi occupazionali comprendono i settori manifatturieri e della trasformazione industriale, i settori dei servizi tradizionali (trasporti, distribuzione, gestione del territorio, ecc.), i settori dei servizi avanzati ad alto valore aggiunto (consulenza direzionale, informatica, telecomunicazioni, ecc.), l'intero settore della Pubblica Amministrazione. In particolare, il laureato in Ingegneria dei Processi Gestionali è destinato a operare nell'analisi dei processi aziendali, nel controllo di gestione e nella gestione delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione a supporto dei processi organizzativi.

Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è pari almeno al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

1° anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
Analisi matematica L-A	6	Analisi matematica L-B	6	Matematica applicata L	6
Economia e organizzazione aziendale L-A + L-B (corso integrato)	12	Fondamenti di informatica L-A	6	Fondamenti di informatica L-B	6
Geometria e algebra L	6	Fisica generale L-A	6	Fisica generale L-B	6
<b>Totale Crediti Formativi</b>			<b>60</b>		



2° anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
Elettronica L	6	Controlli automatici L	6	Fondamenti di ricerca operativa L	6
Basi di dati L	6	Marketing industriale L	5	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici L	5
Elettrotecnica L (2)	6	Telecomunicazioni L-A	6	Telecomunicazioni L-B	5
Matematica applicata L (1)					
Sistemi di controllo di gestione L	6	Lingua straniera: inglese	3		
		<b>Totale Crediti Formativi</b>	<b>60</b>		

(1) Attivato anche al Secondo anno per gli studenti che non l'abbiano già frequentato.

(2) Attivato solo per gli studenti che non l'abbiano già frequentato.

**Corso di laurea in**  
**Classe**  
**Facoltà**

**Ingegneria Informatica**  
**9 - Ingegneria dell'Informazione**  
**Ingegneria - Sede di Bologna**

**Presidente del Consiglio di Corso di Studio: Prof. Eugenio Faldella**

### *Obiettivi formativi qualificanti*

I laureati in Ingegneria informatica dovranno:

- Conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria.
- Saper identificare, formulare e risolvere i problemi dell'ingegneria dell'informazione utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati.
- Essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per l'analisi e la progettazione delle componenti hardware e software di un sistema per l'elaborazione dell'informazione.
- Essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne e interpretarne i dati.
- Conoscere i contesti aziendali e la cultura d'Impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi; avere capacità relazionali e decisionali.
- Essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, oltre che in italiano, anche in inglese.
- Possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze, ed essere capaci di apprendere attraverso lo studio individuale.

Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è mediamente superiore al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

### *Obiettivi formativi specifici*

Il profilo che il complesso delle attività formative intende conseguire è quello di una figura professionale flessibile, atta ad inserirsi, in tempi ragionevolmente brevi, in ambiti operativi anche molto differenziati: imprese produttrici e/o utilizzatrici di sistemi o dispositivi informatici; società di ingegneria del SW; aziende pubbliche o private che utilizzano l'informatica per otti-

mizzare la propria gestione e/o per fornire servizi, ecc. Il curriculum delle attività formative doterà il laureato di specifiche capacità che gli consentiranno di operare nell'ambito della produzione e delle applicazioni dell'informatica (sistemista, progettista, programmatore). Le conoscenze acquisite potranno anche agevolmente integrarsi con altri tipi di competenze (economiche, giuridiche, grafiche ecc.) e creare in tal modo nuove figure professionali, di cui si prevede una crescente richiesta. Questo processo di allargamento del proprio spettro formativo potrà essere avviato durante il periodo di studio mediante l'autonoma scelta di alcuni insegnamenti.

1° anno									
I ciclo			II ciclo			III ciclo			
Analisi matematica L-A	6	A	Analisi matematica L-B	6	A	Elettrotecnica L-A	6	C	
Geometria e algebra L-A	6	A	Fisica generale L-A	6	A	Fisica generale L-B	6	A	
Fondamenti di informatica L-A	6	A	Fondamenti di informatica L-B	6	A	Reti logiche	6	B	
Laboratorio di informatica L-A	6	A							
Lingua straniera: Inglese									3 E

2° anno									
I ciclo			II ciclo			III ciclo			
Controlli automatici L-A	6	B	Calcolatori elettronici L-A	6	B	Sistemi operativi L-A	6	B	
Controlli automatici L-B	6	B	Elettronica L-A	6	B	Elettronica L-B	6	B	
Matematica applicata L-A	6	C	Comunicazioni elettriche L-A	6	B	Reti di telecomunicazioni L-A	6	B	
Economia e organizzazione aziendale L-A	6	C							

3° anno									
I ciclo			II ciclo			III ciclo			
Sistemi informativi L-A	6	B	Reti di calcolatori L-A	6	B	Tecnologie WEB L-A	6	C	
Sistemi informativi L-B	6	C	Ingegneria del software L-A	6	B	Nota 1	6	D/F	
Economia e organizzazione aziendale L-A	6	C	Ricerca operativa L-A	3	C	Nota 1	6	D/F	
Nota 1		D/F	Nota 1		D/F				
Prova Finale L									6 E

**Nota 1:**

Tipologia D: 9 crediti complessivamente, a scelta libera. Si suggerisce di operare le scelte nell'ambito delle attività formative indicate nella seguente tabella.  
 Tipologia F: 9 crediti complessivamente. Si operino le scelte nell'ambito delle attività formative di tipologia F indicate nella seguente tabella.

I ciclo			II ciclo			III ciclo			
Analisi matematica L-C	6	D	Fisica generale L-C	6	D	Fondamenti di chimica L-A	6	D	
Laboratorio di analisi numerica L-A	3	F	Laboratorio di creazione di impresa L-A	6	F	Affidabilità e controllo di qualità L-A	6	F	
Ingegneria e tecnologie dei sistemi di controllo L-A	6	D	Laboratorio di automazione L-A	3	D	Identificazione dei modelli e analisi dei dati L-A	6	D	
Lingua inglese L-B	3	F	Laboratorio di ricerca operativa L-A	3	F	Laboratorio di informatica L-B	6	F	
Propagazione L-A	6	D				Amministrazione di reti di calcolatori L-A	3	F	
						Tirocinio	9	F	

**Corso di laurea in  
Classe  
Facoltà**

**Ingegneria Meccanica  
10 – Ingegneria industriale  
Ingegneria – Sede di Bologna**

**Presidente del Consiglio di Corso di Studio: Prof. Umberto Meneghetti**

*Obiettivi formativi qualificanti*

I laureati in ingegneria meccanica dovranno:

- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologici-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tali conoscenze per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria;
- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi delle scienze dell'ingegneria, sia in generale sia, in modo approfondito, quelli relativi alla specifica area dell'ingegneria meccanica, nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere i problemi utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati;
- essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per la progettazione di componenti, sistemi, processi;
- essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne ed interpretarne i dati;
- essere capaci di comprendere l'impatto delle soluzioni ingegneristiche nel contesto sociale e fisico-ambientale;
- conoscere le proprie responsabilità professionali ed etiche;
- conoscere i contesti aziendali e la cultura d'impresa nei suoi aspetti economici, gestionali ed organizzativi;
- conoscere i contesti contemporanei;
- avere capacità relazionali e decisionali;
- essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, in almeno una lingua dell'Unione Europea, oltre l'italiano;
- possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze.

Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è pari almeno al 50% dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

*Obiettivi formativi specifici*

I laureati verranno a conoscenza degli aspetti metodologici ed operativi delle scienze di base e delle scienze dell'Ingegneria, con particolare riguardo degli aspetti specifici dell'ambito dell'Ingegneria meccanica, senza tralasciare gli aspetti generali dell'Ingegneria industriale.

Il profilo formativo dei laureati in Ingegneria meccanica consentirà loro di svolgere attività professionali quali la progettazione, la produzione, l'ingegnerizzazione e la gestione di componenti, sistemi e processi, e l'esercizio e l'assistenza delle strutture tecnico-commerciali nelle aziende che caratterizzano la classe dell'Ingegneria industriale.

I principali sbocchi professionali sono: industrie meccaniche; industrie manifatturiere in generale per la progettazione, la produzione, l'installazione, il collaudo e la gestione di macchine, mezzi di trasporto, linee e reparti di produzione, impianti e sistemi complessi; imprese impiantistiche; industrie per l'automazione e la robotica; industrie elettromeccaniche.

Ciclo didattico	1° anno		2° anno	
	Attività didattica	CFU	Attività didattica	CFU
Primo ciclo	Analisi matematica L-A	6	Economia e organizzazione aziendale L	6
	Fondamenti di informatica L-A	6	Elementi di meccanica dei fluidi L	5
	Geometria e algebra L-A	6	Meccanica delle macchine L	6
Secondo ciclo	Analisi matematica L-B	6	Elettrotecnica industriale L	8
	Disegno tecnico industriale L	6	Fisica Tecnica L	6
	Fisica generale L-A	6	Tecnologia meccanica L	6
	Laboratorio di informatica (*)	(3)	Laboratorio di Analisi numerica (*)	(3)
Terzo ciclo	Chimica e materiali	8	Elementi delle macchine L	6
	Fisica generale L-B	6	Misure meccaniche, termiche e collaudi L	6
	Meccanica razionale L	6	Controlli automatici L	6
			Laboratorio metallurgia (*)	(3)

(\*) Corso a scelta.

NOTA. Nell'ambito della scelta autonoma, lo studente deve inoltre acquisire 9 CFU, scegliendo fra tutti gli insegnamenti attivati presso l'Università di Bologna Alma Mater Studiorum. Qualora vengano scelti insegnamenti di un vecchio ordinamento, nell'ambito della Facoltà di Ingegneria o di altre Facoltà dell'Ateneo, il relativo numero di CFU è quello stabilito dalle tabelle di riaccreditamento del relativo Corso di laurea. Ai fini della scelta autonoma, il Corso di laurea ha previsto l'attivazione dell'insegnamento "DISEGNO DI MACCHINE" (9 CFU), collocato al terzo ciclo del terzo anno di corso.

**Corso di Studio in:**

**Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio**

**Classe:**

**8 – Ingegneria Civile e Ambientale**

**Facoltà:**

**Ingegneria – Sede di Bologna**

**Presidente del Consiglio di Corso di Studio: Prof. Fulvio Ciancabilla**

### *Obiettivi formativi qualificanti*

I laureati nei corsi di laurea della classe devono:

- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria;
- essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per la progettazione di componenti, sistemi e processi;
- essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne e interpretarne i dati;
- essere capaci di comprendere l'impatto delle soluzioni ingegneristiche nel contesto sociale e fisico-ambientale;
- conoscere le proprie responsabilità professionali ed etiche;
- conoscere i contesti aziendali ed e la cultura d'impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi;
- conoscere i contesti contemporanei;
- avere capacità relazionali e decisionali;
- essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, in almeno una lingua dell'Unione Europea, oltre l'italiano;
- possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze.

I laureati della classe svolgeranno attività professionali in diversi ambiti, quali la progettazione assistita, la produzione, la gestione ed organizzazione, l'assistenza delle strutture tecnico-commerciali, sia nella libera professione che nelle imprese manifatturiere o di servizi e nelle amministrazioni pubbliche. In particolare, le professionalità dei laureati della classe potranno essere definite in rapporto ai diversi ambiti applicativi tipici della classe. A tal scopo i curricula dei corsi di laurea della classe si potranno differenziare tra loro, al fine di approfondire distinti ambiti applicativi.

Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è pari almeno al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

### *Obbiettivi formativi specifici*

Il Corso di studio presenta una spiccata multidisciplinarietà ed intersectorialità che si articola nei seguenti curricula che sono caratterizzati da un'ampia base comune e da motivi formativi specifici:

- Geoingegneria;
- Tecniche e tecnologie ambientali
- Protezione del suolo e del territorio

Il curriculum Geoingegneria prepara gli allievi alla progettazione, realizzazione e gestione di interventi di ingegneria nei seguenti orientamenti:

- geotecnologie e materie prime,
- idrocarburi e fluidi del sottosuolo.

L'orientamento geotecnologie e materie prime prepara specialisti nella ricerca, valutazione, estrazione e valorizzazione delle materie prime minerali solide; prepara anche specialisti in scavi a cielo aperto ed in sotterraneo, in terreni e rocce, per opere civili mirate alla realizzazione di servizi e di interventi sul terreno a difesa del suolo, per la bonifica delle pareti in roccia, per la decontaminazione in situ dei suoli inquinati, ecc. Sviluppa altresì gli aspetti scientifici e tecnologici relativi al recupero di materie prime seconde, in particolare al recupero dei materiali da demolizioni e dei materiali industriali. L'orientamento dà particolare rilievo alla progettazione e gestione in sicurezza ed in qualità dei cantieri, ai problemi di sviluppo sostenibile, alla valutazione dell'impatto ambientale degli interventi di Geoingegneria ed alla progettazione, realizzazione e gestione di interventi di recupero ambientale.

L'orientamento idrocarburi e fluidi del sottosuolo studia specificatamente le metodologie e le tecniche volte alla ricerca, valutazione, estrazione e valorizzazione dei fluidi presenti nel sottosuolo (idrocarburi, acqua, fluidi geotermici). Studia, in particolare: il moto mono-multifase ed il trasporto di sostanze solubili entro sistemi di fluidi saturanti mezzi porosi e fratturati; le tecniche per la perforazione, l'estrazione, la produzione e la gestione delle risorse fluide del sottosuolo; le tecniche per la salvaguardia delle risorse idriche sotterranee e gli interventi connessi per il loro disinquinamento; le tecniche di campionamento del suolo mediante sondaggi di varia natura; i metodi di misura in laboratorio ed in situ delle caratteristiche del sottosuolo dei fluidi.

L'ingegnere con laurea nel curriculum Geoingegneria trova sbocchi professionali in strutture pubbliche e private e nella libera professione. Nell'ambito della Pubblica Amministrazione il geoingegnere trova spazi operativi, ad esempio, nella pianificazione delle attività estrattive, nel controllo delle attività produttive e della sicurezza. Come specialista in Ingegneria degli scavi (gallerie, grandi scavi a cielo aperto ed in sotterraneo, sbancamenti, ecc.) ha competenza, sia nelle pubbliche amministrazioni che in imprese private nella valutazione di fattibilità, nella progetta-

zione esecutiva, nella direzione lavori e di cantiere, nelle perforazioni, negli interventi di consolidamento del terreno, nell'elaborazione di piani di sicurezza e nel controllo di quest'ultima. La laurea è, per legge, equipollente a quella in ingegneria mineraria. Sotto questo profilo, il laureato trova ampi spazi di lavoro nella ricerca, valutazione, estrazione e valorizzazione delle materie prime minerali solide, liquide e gassose (idrocarburi, acque minerali), sia in imprese pubbliche che private, sia in Italia che all'estero.

Il curriculum Tecniche e tecnologie ambientali fornisce una preparazione volta all'analisi del rischio ambientale, con riferimento a condizioni sia correnti sia anomale, indotto da attività e da insediamenti antropici. La valutazione complessiva prevede di effettuare:

- in sede di progettazione, lo studio di impatto ambientale delle fasi di realizzazione, operatività e dismissione delle attività, ivi incluso il rischio da eventi incidentali ed il destino ambientale degli inquinanti,
- in sede di esercizio, lo sviluppo di sistemi di gestione ambientale, di sicurezza e di monitoraggio dei principali parametri di misura degli impatti.

Lo studio delle tecniche sopra riportate è integrato dalla conoscenza di elementi per l'analisi, la realizzazione e gestione degli interventi tecnologici per il contenimento delle emissioni al fine della mitigazione, nel loro complesso, degli impatti suddetti.

Si farà particolare riferimento agli interventi per la riduzione all'origine di emissioni liquide, gassose, solide e sonore, agli impianti di depurazione per il trattamento sia di reflui liquidi civili e industriali sia di emissioni gassose, allo smaltimento e al recupero dei rifiuti, alla bonifica di siti inquinati.

Con questi obiettivi specifici i principali sbocchi occupazionali sono: imprese, enti pubblici e privati e studi professionali per:

- la progettazione, realizzazione e gestione di impianti di trattamento e di contenimento delle emissioni, di sistemi per il controllo e monitoraggio dell'ambiente e del territorio, per la gestione dei rifiuti, delle risorse ambientali ed energetiche;
- la valutazione della compatibilità ambientale di piani ed opere;
- la valutazione e gestione della sicurezza d'impianto.

Il curriculum Protezione del suolo e del territorio fornisce una preparazione volta alla formazione di un Ingegnere capace di valutare, progettare, realizzare, monitorare e gestire gli interventi resi necessari dai dissesti territoriali avvenuti per cause naturali e/o antropiche. Tali interventi sono finalizzati alla prevenzione, protezione e recupero.

Tra gli altri, si ricordano gli interventi di prevenzione e controllo del rischio idro-geologico, di sistemazione dei bacini idrografici, di regimazione dei litorali, di protezione civile, di controllo dei rischi ambientali, di monitoraggio dell'evoluzione del territorio ed in particolare dei movimenti franosi, nonché quelli di gestione, controllo e protezione dai rischi naturali (sismico, vulcanico e geomorfologico), ed infine quelli finalizzati alla valutazione di impatto ambientale di opere ingegneristiche.

Con questi obiettivi si prospettano per il laureato in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio nell'indirizzo Protezione del suolo e del territorio molteplici sbocchi professionali, fra cui in particolare:

- enti pubblici, quali in particolare l'Amministrazione centrale dello Stato ed enti locali (comuni, province, regioni);
- consorzi di bonifica, comunità montane, autorità di bacino, aziende regionali di protezione ambientale;
- società di ingegneria e studi professionali che operano nei problemi ambientali, di tutela e recupero del territorio;
- imprese private di costruzione e gestione di interventi di difesa del suolo;

- società di installazione e gestione di strumenti e reti di monitoraggio idro-meteo-marino e geodetico e di produzione di cartografia;
- divisione ambiente e/o territorio di grandi aziende.

Anno di Corso	I ciclo	II ciclo	III ciclo	Moduli (crediti)
<b>1° comuni</b>	Analisi matematica L - A (6) [MAT/05] Fondamenti di chimica L (6) [CHIM/07] Elementi di Informatica* L (3) [ING-INF/05] Lingua straniera: Inglese L (e 3)	Geometria e algebra L (6) [MAT/03] Fisica generale L - A (6) [FIS/01] Trattamento statistico dei dati* L (3) [FIS/01] Laboratorio disegno CAD L (f 6) [ING-IND/15]	Analisi matematica L - B (6) [MAT/05] Fisica generale L - B (6) [FIS/01] Geologia L (6) [GEO/02] Tecnologie di chimica applicata L (6) [ING-IND/22]	9 Moduli + Inglese e Lab. Dis. <b>63 CFU</b>

\* Corso Integrato composto dai moduli di: Elementi di Informatica L e Trattamento statistico dei dati L e denominato "Informatica e statistica L"

<b>2° comuni</b>	Scienza delle costruzioni L (6) [ICAR/08] Topografia L (6) [ICAR/06] Fisica tecnica ambientale L (6) [ING-IND/11] Idraulica L - A (6) [ICAR/01]	Macchine L (5) [ING-IND/09] Economia ed organizzazione aziendale L (6) [ING-IND/35] Elettrotecnica L (4) [ING-IND/31]		7 Moduli (39 crediti)
------------------	--	---	--	-----------------------

### Curriculum: Geoingegneria

<b>2°</b>			Meccanica delle rocce L (6) [ICAR/07] Meccanica dei fluidi nel sottosuolo L (6) [ING-IND/30] Sicurezza del lavoro e difesa ambientale L (6) [ING-IND/28]	3 Moduli (18 crediti) <b>57 CFU</b>
-----------	--	--	--	--

### Curriculum: Tecniche e Tecnologie Ambientali

<b>2°</b>		Geotecnica L (6) [ICAR/07]	Elementi di chimica organica e biochimica L* (4) [CHIM/06] Strumentazione e misure per l'inquinamento* L (5) [ING-IND/27] Fondamenti di tecnologie di processo L (5) [ING-IND/24]	3 Moduli (20 crediti) <b>59 CFU</b>
-----------	--	----------------------------	---	--

\* Corso Integrato composto dai moduli di: Elementi di chimica organica e biochimica L e Strumentazione e misure per l'inquinamento L e denominato "Chimica organica e misure per l'inquinamento L"

### Curriculum: Protezione del Suolo e del Territorio

<b>2°</b>		Geotecnica L (6) [ICAR/07]	Idrologia L (6) [ICAR/02] Meccanica delle rocce L (6) [ICAR/07] Idraulica L - B (6) [ICAR/01]	4 Moduli (24 crediti) <b>63 CFU</b>
-----------	--	----------------------------	---	--

**Corso di studio:** Ingegneria Energetica  
**Classe:** 10 – Ingegneria Industriale  
**Facoltà:** Ingegneria – Sede di Bologna

**Presidente del Consiglio di Corso di Studio:** Prof. Vittorio Colombo

### *Obiettivi formativi*

I laureati nel corso di laurea in Ingegneria Energetica devono:

- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria;
- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi delle scienze dell'ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli dell'area dell'ingegneria energetica, nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere i problemi utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati;
- essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per la progettazione e la gestione di componenti, sistemi, processi;
- essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne ed interpretarne i dati;
- essere capaci di comprendere l'impatto delle soluzioni ingegneristiche nel contesto sociale e fisico-ambientale;
- conoscere le proprie responsabilità professionali ed etiche;
- conoscere i contesti aziendali e la cultura d'impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi;
- conoscere i contesti contemporanei;
- avere capacità relazionali e decisionali;
- essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, in almeno una lingua dell'Unione Europea, oltre l'italiano;
- possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle loro competenze.

Il corso di laurea in Ingegneria Energetica si propone di fornire una buona conoscenza delle discipline matematiche, fisiche, chimiche e informatiche, nonché delle tematiche fondamentali dell'ingegneria industriale, con particolare riguardo alla termodinamica, alla fluidodinamica, alla trasmissione del calore e all'elettrotecnica, al fine di consentire agli studenti di acquisire in modo critico ed approfondito le competenze specifiche dell'ingegneria energetica. Tali competenze saranno incentrate sui sistemi energetici di potenza e cogenerativi, sulle macchine per la conversione di energia, sugli impianti termotecnici, sulle applicazioni dell'ingegneria nucleare, sugli impianti ed i sistemi elettrici, sui processi di trasformazione delle risorse energetiche, sulle tecniche di controllo dell'impatto ambientale di sistemi energetici, sull'uso razionale dell'energia.

I principali sbocchi occupazionali sono: aziende municipali di servizi; enti pubblici e privati operanti nel settore dell'approvvigionamento energetico; aziende produttrici di componenti di impianti elettrici e termotecnici; studi di progettazione in campo energetico; aziende ed enti civili e industriali in cui è richiesta la figura del responsabile dell'energia; enti di ricerca e sviluppo nel settore delle tecnologie energetiche avanzate.

Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è pari almeno al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.



Il Corso di Laurea in Ingegneria Energetica comprende due Orientamenti (Termofluidodinamica e Sistemi Energetici - Tecnologie Energetiche Avanzate).

L'Orientamento Termofluidodinamica e Sistemi Energetici fornisce agli allievi strumenti metodologici di analisi e specifiche competenze progettuali sui sistemi di conversione dell'energia da fonti primarie fossili e rinnovabili, sui relativi problemi di impatto ambientale, sugli impianti termotecnici ed elettrici, sull'uso razionale dell'energia.

L'Orientamento Tecnologie Energetiche Avanzate prepara gli allievi all'approfondimento di aspetti di base e alla comprensione delle peculiarità di impianti per la produzione e l'utilizzazione dell'energia sia da combustibili fossili che da fonti nucleari e rinnovabili, fornendo conoscenze sugli inscindibili problemi tecnologici, ambientali, radioprotezionistici e di sicurezza ad essi collegati.

1° anno - CFU 57		
I ciclo	II ciclo	III ciclo
Analisi matematica L-A (cfu 6)	Analisi matematica L-B (CFU 6)	Meccanica razionale L (CFU 6)
Economia ed organizzazione aziendale L (CFU 6)	Fisica generale L-A (CFU 6)	Fisica generale L-B (CFU 6)
Geometria e algebra L (CFU 6)	Fondamenti di informatica L (CFU 6)	Fondamenti di chimica L (CFU 6)
Lingua straniera: inglese (CFU 3)		

2° anno - CFU 57			
I ciclo	II ciclo	III ciclo	
Elettrotecnica, macchine e azionamenti elettrici L (corso integrato) (CFU 10)	Meccanica applicata L (CFU 6)	Tecnologie generali dei materiali L (CFU 3)	A scelta (*) (CFU 3)
Termodinamica applicata L (CFU 6)	Moto dei fluidi e termocinetica L (CFU 6)	Elettronica applicata L (CFU 6)	
Disegno assistito dal Calcolatore L (CFU 6)	Meccanica dei solidi e comportamento meccanico dei materiali (corso integrato) (CFU 6)	Fondamenti dell'ingegneria di processo L (CFU 5)	

(\*) Consigliate, in alternativa fra loro:  
 Chimica-fisica dei materiali I (cfu 3)  
 Scienza dei metalli I (cfu 3) non acceso nell'a.a. 2002/03

**Corso di studio:**

**Laurea Spec.ca in Ingegneria delle Telecomunicazioni**

**Classe:**

**30/S – Ingegneria delle telecomunicazioni**

**Facoltà:**

**Ingegneria – Sede di Bologna**

**Presidente del Consiglio di Corso di studio: Prof. Giovanni Emanuele Corazza**

### *Obiettivi formativi*

I laureati specialistici della classe in INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI devono:

- conoscere approfonditamente gli aspetti teorico-scientifici della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria complessi o che richiedono un approccio interdisciplinare;
- conoscere approfonditamente gli aspetti teorico-scientifici dell'ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli dell'ingegneria delle telecomunicazioni, nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere, anche in modo innovativo, problemi

- complessi o che richiedono un approccio interdisciplinare;
- essere capaci di ideare, pianificare, progettare e gestire sistemi, processi e servizi complessi e/o innovativi;
- essere capaci di progettare e gestire esperimenti di elevata complessità;
- essere dotati di conoscenze di contesto e di capacità trasversali;
- avere conoscenze nel campo dell'organizzazione aziendale (cultura d'impresa) e dell'etica professionale;
- essere in grado di utilizzare fluentemente, in forma scritta e orale, almeno una lingua dell'Unione Europea oltre l'italiano, con riferimento anche ai lessici disciplinari.

I laureati specialistici in Ingegneria delle Telecomunicazioni avranno una conoscenza approfondita delle materie specifiche della classe, con particolare riguardo ai settori delle reti e dei sistemi di telecomunicazione, della elaborazione e trasmissione dell'informazione, dei servizi di telecomunicazione, della progettazione di dispositivi, circuiti e apparati per telecomunicazioni, della propagazione libera e guidata del campo elettromagnetico. La cultura specialistica sarà integrata da materie di base, affini e integrative volte alla definizione di una figura professionale ad ampio spettro. Le attrezzature informatiche ed i laboratori, già presenti nella sede ed in fase di ulteriore incremento, permetteranno di approfondire gli aspetti pratico/applicativi. Potranno essere svolte anche attività di tirocinio utilizzando la collaborazione di enti pubblici e privati presenti sul territorio.

Le capacità che si forniranno agli Studenti sono:

- attitudine alla progettazione avanzata di componenti, sistemi e processi, anche di particolare complessità e grado di innovazione, con l'utilizzazione di moderni metodi di calcolo e progetto;
- approfondita conoscenza dei sistemi tipici del settore;
- capacità di ideazione di componenti, sistemi e processi innovativi;
- capacità organizzative e gestionali anche in sistemi industriali complessi.

L'Ateneo organizza, in accordo con enti pubblici e privati, VWDJHV e tirocini. Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è pari almeno al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

Gli ambiti professionali tipici per i laureati specialistici della classe sono quelli dell'innovazione e dello sviluppo della produzione, della progettazione avanzata, della pianificazione e della programmazione, della gestione di sistemi complessi, sia nella libera professione sia nelle imprese manifatturiere o di servizi che nelle amministrazioni pubbliche. I laureati specialistici potranno trovare occupazione presso imprese di progettazione, produzione ed esercizio di apparati, sistemi e infrastrutture riguardanti l'acquisizione e il trasporto delle informazioni e la loro utilizzazione in applicazioni telematiche; imprese pubbliche e private di servizi di telecomunicazione e telerilevamento terrestri o spaziali; enti di controllo del traffico aereo, terrestre e navale.

1° anno - Moduli obbligatori

I ciclo		II ciclo		III ciclo	
Metodi numerici per l'Ingegneria LS	6	Sistemi di telecomunicazioni LS	6	Sistemi a portante ottica LS	6
Sistemi d'antenna LS	6	Reti di telecomunicazioni LS	6	Teletraffico LS	6
Elettronica dei Sistemi Digitali LS	6	Propagazione LS-A	6	Propagazione LS-B	6

**Corso di studio:** Laurea Spec.ca europea in Ingegneria Edile-Architettura  
**Classe:** 4/S - Scienze dell'architettura e dell'ingegneria edile  
**Facoltà:** Ingegneria - Sede di Bologna

**Presidente del Consiglio di Corso di studio:** Prof. Alberto Corlaita

### *Obiettivi formativi*

Il Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Edile-Architettura ha l'obiettivo di assicurare una approfondita e specifica conoscenza nei settori scientifico disciplinari dell'Architettura e dell'Ingegneria Edile.

In particolare, i laureati specialisti della classe devono:

- conoscere approfonditamente la storia dell'architettura e dell'edilizia, gli strumenti e le forme della rappresentazione, gli aspetti teorico-scientifici oltre che metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base; saranno, inoltre, capaci di utilizzare tali conoscenze per interpretare e descrivere approfonditamente problemi dell'architettura e dell'edilizia complessi o che richiedono un approccio interdisciplinare;
- conoscere approfonditamente gli aspetti teorico scientifici, oltre che metodologico-operativi, relativi agli ambiti disciplinari caratterizzanti il corso di studio seguito al fine di utilizzare tali conoscenze per identificare, formulare e risolvere anche in modo innovativo problemi dell'architettura e dell'edilizia complessi o che richiedono un approccio interdisciplinare;
- avere conoscenze nel campo dell'organizzazione aziendale (cultura d'impresa) e dell'etica professionale;
- essere in grado di utilizzare fluentemente, in forma scritta e orale, almeno una lingua dell'Unione Europea oltre l'italiano, con riferimento anche ai lessici disciplinari.

I laureati specialisti della classe sono in grado di progettare, attraverso gli strumenti propri dell'architettura e dell'ingegneria edile e avendo padronanza degli strumenti relativi alla fattibilità costruttiva dell'opera ideata, le operazioni di costruzione, trasformazione e modificazione dell'ambiente fisico, con piena conoscenza degli aspetti estetici, distributivi, funzionali, strutturali, tecnico-costruttivi, gestionali, economici e ambientali e con attenzione critica ai mutamenti culturali e ai bisogni espressi dalla società contemporanea. Predispongono progetti di opere e ne dirigono la realizzazione, coordinando a tali fini, ove necessario, altri specialisti e operatori nei campi dell'architettura, dell'ingegneria edile, dell'urbanistica e del restauro architettonico.

Gli atenei organizzano attività esterne come tirocini e stages.

I laureati specialisti potranno svolgere, oltre alla libera professione, funzioni di elevata responsabilità, tra gli altri, in istituzioni ed enti pubblici e privati (enti istituzionali, enti e aziende pubblici e privati, studi professionali e società di progettazione), operanti nei campi della costruzione e trasformazione delle città e del territorio.

Relativamente alla definizione di curricula preordinati alla esecuzione delle attività previste dalle direttive 85/384/CEE, 85/14/CEE, 86/17/CEE e relative raccomandazioni il regolamento didattico di ateneo si conforma alle prescrizioni dell'art. 6, comma 3, del D.M. n. 509/99.

Il corso di laurea specialistica in Ingegneria Edile-Architettura viene istituito presso la Facoltà di Ingegneria con un ordinamento specificatamente strutturato nel rispetto della Direttiva 85/384/CEE concernente i titoli che danno accesso alle attività del settore dell'architettura a livello europeo, assumendo come riferimento lo statuto dell'Università di L'Aquila, approvato dall'U.E. come riportato nella G.U. delle Comunità Europee 1999/C 351/10, unitamente ai corsi di laurea omonimi delle Facoltà di Ingegneria delle Università degli Studi di L'Aquila, Pavia e Roma.

Il corso di laurea in Ingegneria Edile-Architettura ha la finalità di formare una figura profes-

sionale specificatamente qualificata per operare a pieno titolo, anche a livello europeo, nel campo della progettazione architettonica e urbanistica.

Su questa base il Corso di Laurea è strutturato in modo da garantire una ripartizione equilibrata tra conoscenze teoriche e pratiche, con un curriculum che riguarda fundamentalmente l'architettura nei suoi vari aspetti e contenuti, da quelli edilizi a quelli urbanistici.

In particolare tende a creare una figura professionale che alla specifica capacità progettuale accompagni la padronanza degli strumenti relativi alla fattibilità costruttiva dell'opera ideata, fino poterne seguire con competenza la corretta esecuzione sotto il profilo estetico, funzionale e tecnico-economico.

Obiettivo culturale e operativo e l'integrazione in senso qualitativo del metodo storico-critico con il metodo scientifico, secondo una impostazione didattica che concepisce la progettazione come processo di sintesi, evitando così di scadere tanto nel mero tecnicismo, quanto nel vieto formalismo; si tende a una preparazione che identifichi il progetto come momento fondamentale e qualificante del costruire.

### *Organizzazione della didattica*

L'impostazione della didattica è tale da assicurare l'acquisizione di capacità creative e di professionalità legate alla realtà operativa che si deve supporre in continuo divenire; a tale fine sono ammessi modelli pedagogici innovativi e comunque equilibrati sotto il profilo umanistico e scientifico.

La durata del corso di laurea è stabilita in cinque anni.

L'attività didattica di tipo estensivo è di 4280 ore ed è articolata in:

- lezioni, impartite in ciascun insegnamento per dare le conoscenze formative di base e generali;
- esercitazioni applicative;
- laboratori progettuali effettuati sotto la guida collegiale di più docenti della medesima area disciplinare o di aree diverse, per accrescere negli allievi le capacità di analisi o di sintesi dei molteplici fattori che intervengono nella progettazione architettonica e urbanistica;
- stages e tirocini finalizzati a porre l'allievo in contatto diretto con il mondo professionale e con il settore dell'industria edilizia secondo specifici programmi predisposti dal consiglio di corso di laurea; l'attività di tirocinio dovrà essere svolta in Italia o in altro Paese dell'UE, presso facoltà, studi professionali ed enti pubblici o privati che operano nel campo dell'architettura e/o dell'urbanistica.

L'ordinamento didattico è formulato con riferimento ad aree disciplinari intese come insiemi di discipline raggruppate, per le quali, è definito il numero minimo di ore di attività didattica, in modo da raggiungere definiti obiettivi didattico-formativi. In rapporto ai contenuti didattici e alle finalità formative che caratterizzano i singoli insegnamenti si hanno le seguenti aree disciplinari:

1. • Area della storia dell'architettura e dell'arte;
2. • Area della rappresentazione e del rilievo;
3. • Area della matematica e della fisica
4. • Area economica giuridica e sociologica;
5. • Area della progettazione architettonica e del restauro;
6. • Area dell'urbanistica;
7. • Area della produzione edilizia e delle tecnologie edilizie;
8. • Area della progettazione e delle tecnologie delle strutture.

I regolamenti didattici di ateneo determinano, con riferimento all'art. 5, comma 3, del decreto ministeriale 3 novembre 1999, n. 509, la frazione dell'impegno orario complessivo riservato allo studio o alle altre attività formative di tipo individuale in funzione degli obiettivi specifici della formazione avanzata e dello svolgimento di attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

1° anno	CFU
Analisi matematica 1	6
Informatica grafica	6
Storia dell'Architettura 1	9
Laboratorio progettuale di Storia dell'architettura 1	2
Geometria	6
Disegno dell'architettura 1	9
Laboratorio progettuale di Disegno dell'architettura 1	3
Fisica generale	6
2° anno	CFU
Analisi matematica 2	6
Disegno dell'architettura 2	9
Laboratorio progettuale di Disegno dell'architettura 2	3
Legislazione OO.PP. e dell'edilizia, Diritto Urbanistico e Sociologia C.I.	6
Meccanica razionale	7
Estimo	8
Storia dell'Architettura 2	9
Laboratorio progettuale di Storia dell'architettura 2	2
3° anno	CFU
Scienza delle costruzioni	10
Laboratorio progettuale di Scienza delle Costruzioni	3
Architettura tecnica 1	8
Laboratorio progettuale di Architettura tecnica 1	2
Urbanistica	8
Laboratorio progettuale di Urbanistica	2
Fisica tecnica ambientale	10
Architettura e Composizione Architettonica 1	8
Laboratorio progettuale di Architettura e Composizione Architettonica 1	2
Idraulica e Costruzioni idrauliche (urbane) C.I.	10
4° anno	CFU
Tecnica delle costruzioni	10
Laboratorio progettuale di Tecnica delle Costruzioni	3
Architettura tecnica 2	8
Laboratorio progettuale di Architettura tecnica 2	2
Tecnica urbanistica	8
Laboratorio progettuale di Tecnica Urbanistica	2
Architettura e Composizione Architettonica 2	8
Laboratorio progettuale di Architettura e Composizione Architettonica 2	2
Tecnologia dei materiali e chimica applicata	7
Organizzazione del cantiere	8
Laboratorio progettuale di Tecnologie Edilizie	2
5° anno	CFU
Architettura e Composizione Architettonica 3	8
Laboratorio Architettura e Composizione Architettonica 3	2
Geotecnica	10
Restauro architettonico	8
Laboratorio Restauro Architettonico	2
<i>1 insegnamento d'orientamento a scelta tra:</i>	
<b>ORIENTAMENTO A</b>	
Architettura e Composizione Architettonica 4	8
Architettura tecnica e tipologie edilizie	8
<b>ORIENTAMENTO B</b>	
Architettura e Composizione Architettonica 4	8
Progettazione urbanistica	8

<b>ORIENTAMENTO C</b> Architettura e Composizione Architettonica 4 Architettura tecnica 3	8 8
<i>1 insegnamento d'orientamento a scelta tra:</i>	
<b>ORIENTAMENTO A</b> Recupero e conservazione degli edifici Chimica e tecnologia del restauro e della conservazione dei materiali Costruzioni in zona sismica Rilievo dell'architettura	8 8 8 8
<b>ORIENTAMENTO B</b> Costruzioni di strade, ferrovie e aeroporti Tecnica urbanistica 2 Topografia e Fotogrammetria	8 8 8
<b>ORIENTAMENTO C</b> Tecnica delle costruzioni 2 Impianti elettrici (Tace per l'A.A. 2001-2002) Impianti tecnici Tecniche di produzione e conservazione dei materiali edilizi Lingua inglese Prova finale Laboratorio tesi di laurea Stage e tirocini	8 8 8 8 3 13 13 5

**Corso di studio:****Laurea Spec.ca in Ingegneria Elettrica****Classe:****31/S Ingegneria Elettrica****Facoltà:****Ingegneria – Sede di Bologna****Presidente del Consiglio di Corso di studio: Prof. Ugo Reggiani***Obiettivi formativi specifici*

Il laureato specialistico in Ingegneria Elettrica deve essere in grado di applicare gli strumenti analitici e le conoscenze relative alle tecnologie avanzate tipiche del settore anche ad altri comparti di punta dell'ingegneria. In particolare, la laurea specialistica deve dare una vasta preparazione scientifica e tecnico-professionale nell'ambito elettrico con ottime conoscenze ingegneristiche di base, capacità di innovazione tecnologica e progettuale e specifiche conoscenze elettriche. La figura professionale dovrà essere in grado di progettare, realizzare e gestire complesse attività, anche innovative, nell'ambito della produzione, trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica, della produzione di apparecchiature e macchinari elettrici e sistemi elettronici di potenza.

1° Anno - CFU 63					
I ciclo	CFU	II ciclo	CFU	III ciclo	CFU
Complementi di analisi matematica LS	6	Dinamica delle macchine LS	5	Macchine Elettriche LS	5
Economia pubblica dell'energia LS	5	Ingegneria dei sistemi energetici	5	Strumentazione elettronica di misura LS	6
Elettromagnetismo applicato con problemi di interferenze elettromagnetiche LS (corso integrato)	11	Conversione statica dell'energia LS	5	Controlli automatici LS	5

**Corso di studio:**

**Classe:**

**Facoltà:**

**Laurea Spec.ca in Ingegneria Elettronica**

**32/S Ingegneria Elettronica**

**Ingegneria - Sede di Bologna**

**Presidente del Consiglio di Corso di studio: Prof. Massimo Rudan**

**Obiettivi formativi specifici**

I laureati specialistici in Ingegneria elettronica avranno una conoscenza approfondita delle materie specifiche della classe, con particolare riguardo ai settori della progettazione avanzata, dello sviluppo di sistemi tipici del settore, e della ideazione di componenti, sistemi e processi innovativi. Largo spazio sarà riservato all'apprendimento dei moderni metodi di progettazione assistita e di modellistica e simulazione.

Le attrezzature informatiche ed i laboratori, già presenti nella sede e in fase di ulteriore incremento, permetteranno di approfondire gli aspetti applicativi. Sarà promossa la collaborazione con Enti pubblici e privati presenti sul territorio per rendere possibile un'attività di tirocinio.

Le capacità che si forniranno agli Studenti sono:

Attitudine alla progettazione avanzata di componenti, sistemi e processi, anche di particolare complessità e grado di innovazione, con l'utilizzazione di moderni metodi di calcolo e progetto.

Capacità organizzative anche in sistemi industriali complessi.

Approfondita conoscenza dei sistemi tipici del settore.

Capacità di ideazione di componenti, sistemi e processi innovativi.

1° anno - Moduli obbligatori					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
Elettronica dei sistemi digitali LS	6	Microelettronica LS	6	Progetto di circuiti analogici LS	6
Sistemi d'antenna LS	6	Elaborazione elettronica dei segnali digitali LS	6		
		Calcolatori elettronici LS	6		

1° anno - Moduli di percorso					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
Sistemi di telecomunicazioni L-A (mutuato dal CL in Ingegneria delle Telecomunicazioni)	6	Elettronica applicata LS (mutuato dal CL in Ing. delle Telecomunicazioni)		Elettronica dello stato solido LS-A	6
				Dinamica dei sistemi non lineari e aleatori LS	6
Metodi numerici per l'ingegneria LS	6	Elettronica applicata LS (mutuato dal CL in Ing. delle Telecomunicazioni)		Sistemi a portante ottica LS, Componenti e circuiti a radiofrequenza LS mutuati dal CL in Ing. delle Telecomunicazioni	6
				Elettronica delle telecomunicazioni LS-A	6
Elaborazione statistica dei segnali nei sistemi elettronici LS Sistemi elettronici ad alta affidabilità LS (supplenza, mutuato dal VO, Affidabilità e diagnostica di componenti e circuiti elettronici)	6	Elettronica applicata LS (mutuato dal CL in Ing. delle Telecomunicazioni)		Dinamica dei sistemi non lineari e aleatori LS	6
				Macchine ed azionamenti elettrici LS, Sensori e trasduttori LS - mutuati dal CL in Ing. Elettrica	6

Analisi matematica LS	6		Sistemi integrati per l'analisi spettrale LS Elettronica dello stato solido LS-A	6
			Strumentazione digitale LS (mutuato dal VO, Strumentazione e misure elettroniche). Sensori e trasduttori LS mutuato dal CL in Ing. elettrica	6
Sistemi elettronici ad alta affidabilità LS (mutuato dal VO, Affidabilità e diagnostica di componenti e circuiti elettronici)	6		Laboratorio di elettronica dei sistemi digitali LS	6
			Architetture di elaborazione distribuita LS, Reti di calcolatori L-A, Sistemi operativi L-A, Tecnologie per la sicurezza LS mutuati dal CL in Ing. informatica	6
Biomeccanica LS (mutuato dal VO, Bioingegneria II)			Strumentazione biomedica LS (mutuato dal VO, Strumentazione biomedica) Bioingegneria LS	6
			Sistemi integrati per l'analisi spettrale LS (supplenza)	6
Analisi matematica LS	6		Elettronica dello stato solido LS-A	6
			Strumentazione digitale LS (mutuato dal VO, Strumentazione e misure elettroniche)	6
Analisi matematica LS	6	Architetture digitali per l'elaborazione del segnale LS	Strumentazione digitale LS - Selmi (supplenza, mutuato dal VO, Strumentazione e misure elettroniche)	6
			Sistemi integrati per l'analisi spettrale LS	6

**Corso di studio:****Classe:****Facoltà:****Laurea Spec.ca in Ingegneria Informatica****35/S Ingegneria Informatica****Ingegneria – Sede di Bologna****Presidente del Consiglio di Corso di studio: Prof. Eugenio Faldella****Obiettivi formativi specifici**

Il corso di laurea specialistica si prefigge l'obiettivo di formare progettisti di sistemi informatici con una solida preparazione metodologica ed una adeguata conoscenza dei modelli tipici del settore, degli standard che da essi derivano e delle tecnologie più avanzate disponibili per realizzarli. I laureati specialistici dovranno essere capaci di concepire, progettare e gestire sistemi, processi e servizi complessi e/o innovativi sia nel settore specifico dell'Informatica, sia in ogni altro comparto in cui le tecnologie dell'informazione rivestano un ruolo di rilievo. A questo scopo vengono ampliate le competenze tecniche e scientifiche di base acquisite con la laurea di primo livello, ponendo in primo piano metodologie e metodi di supporto alla progettazione e gestione del software, dei sistemi operativi, dei sistemi informativi distribuiti, delle reti di calcolatori, delle infrastrutture per la sicurezza delle informazioni e delle architetture ad altissimo livello di integrazione. Sono altresì fornite conoscenze avanzate nei contesti applicativi dell'intelligenza artificiale, dell'elaborazione dell'immagine, dei sistemi in tempo reale e dell'automazione industriale. Sono infine discussi e valutati i risvolti economici, organizzativi e gestionali derivanti dall'uso delle nuove tecnologie.

Il profilo che il complesso delle attività formative intende conseguire è quello di una figura professionale flessibile, atta ad inserirsi in ambiti operativi anche molto differenziati, quali quelli



dell'innovazione e dello sviluppo della produzione, della progettazione avanzata, della pianificazione e della programmazione, della gestione di sistemi complessi, sia nella libera professione, sia nelle imprese manifatturiere o di servizi che nelle amministrazioni pubbliche.

1° anno					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
Matematica discreta LS	6	Fondamenti di intelligenza artificiale LS	6	Controlli automatici LS	6
Linguaggi e modelli computazionali LS	6	Tecnologie per la sicurezza LS	6	Ricerca operativa LS	6
Sistemi digitali LS	6	Sistemi operativi LS	6	Calcolatori elettronici LS	6

## VECCHI ORDINAMENTI

**Per gli studenti immatricolati fino all'anno accademico 2000/2001**

A partire dall'anno accademico 2001/2002 entra in vigore la riforma degli ordinamenti universitari secondo quanto disposto dal D.M. 509/99, pertanto non sarà più possibile effettuare immatricolazioni al primo anno per i corsi di studi sottoindicati, regolamentati dal D.M. 22/5/1995.

Parimenti, a partire dall'A.A. 2002-03 non sarà possibile iscriversi neppure al 2° anno dei seguenti Corsi di Studio:

- 2140 Ingegneria Edile
- 2141 Ingegneria Chimica
- 2142 Ingegneria Civile
- 2143 Ingegneria delle Telecomunicazioni
- 2145 Ingegneria Elettrica
- 2146 Ingegneria Elettronica
- 2147 Ingegneria Gestionale
- 2148 Ingegneria Informatica
- 2149 Ingegneria Meccanica
- 2150 Ingegneria Nucleare
- 2151 Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio
- 2163 Ingegneria delle Telecomunicazioni  
(per gli immatricolati dall'anno accademico 1999/2000)
- 2165 Ingegneria Elettrica  
(per gli immatricolati dall'anno accademico 1999/2000)
- 2166 Ingegneria Elettronica  
(per gli immatricolati dall'anno accademico 1999/2000)
- 2168 Ingegneria Informatica  
(per gli immatricolati dall'anno accademico 1999/2000)
  
- 2161 Diploma Universitario in Ingegneria dell'Ambiente e delle Risorse  
Diploma Universitario in Ingegneria Edilizia (sede di Cesena)

La Segreteria studenti si trova in Via Saragozza, 10 - Bologna (tel. N° 051-2093990) e-mail: [seging@ammc.unibo.it](mailto:seging@ammc.unibo.it)

L'orario di apertura al pubblico è il seguente:

Lunedì-Martedì-Mercoledì-Venerdì dalle ore 9.00 alle ore 11.15

Martedì-Giovedì dalle ore 14.30 alle ore 15.30

Tutte le eventuali disposizioni modificative di quanto riportato dalla presente guida e tutte le eventuali comunicazioni di carattere amministrativo o didattico verranno affisse di volta in volta negli albi della Facoltà e/o della Segreteria studenti.

Si informano gli studenti che indicazioni utili sulle attività dell'Ateneo e della Facoltà, sono disponibili nei rispettivi siti INTERNET: [www.unibo.it](http://www.unibo.it) e [www.ing.unibo.it](http://www.ing.unibo.it)

Il Regolamento didattico di Ateneo ed il Regolamento Studenti sono consultabili al sito Internet [www.unibo.it](http://www.unibo.it)

È attivo 24h su 24 al n° 051-242062 un risponditore telefonico automatico che fornisce informazioni di carattere generale.

## **Iscrizioni ad anni successivi al primo**

Agli studenti iscritti ai corsi di studio indicati nel presente fascicolo è assicurata la conclusione del corso ed il rilascio del relativo titolo. (art.35, comma 1-R.d.A)

A partire dall'anno accademico 2001/2002 sono stati eliminati tutti gli sbarramenti previsti per l'iscrizione agli anni successivi al primo per i corsi di studio indicati nel presente fascicolo (art.35, comma 3-R.d.A.)

Per gli studenti in corso l'iscrizione deve avvenire entro il 1 ottobre 2002.

L'iscrizione effettuata oltre tale data e comunque entro il 31/12/2002 comporterà l'obbligo al pagamento dell'indennità di mora.

Per gli studenti fuori corso l'iscrizione deve avvenire entro il 31 dicembre 2002.

Il pagamento effettuato dopo il 31 dicembre 2002 comporta il pagamento dell'indennità di mora di € 59,39.

Chi ha titolo per iscriversi in corso, lo fa anche se paga la prima rata di tasse dopo il 31 dicembre. **Attenzione!** Sarà, però, assoggettata al pagamento di una **ulteriore** indennità di mora di € 178,17.

**In caso di mancato ricevimento del previsto bollettino (MAV), utilizzabile presso qualsiasi istituto bancario, lo studente è tenuto a presentarsi presso gli sportelli della segreteria studenti per il ritiro degli apposti moduli necessari al pagamento entro le scadenze previste.**

## **Passaggi ad altro corso di studi-Alma Mater Studiorum-Università di Bologna**

Lo studente può passare ad altro corso di studi dell'Università degli Studi di Bologna, presentando domanda alla Segreteria studenti, redatta su apposito modulo in marca da bollo, entro il 29 novembre 2002 per i corsi a libero accesso o nel periodo e con le modalità indicate nel bando di concorso per quelli a numero programmato.

Lo studente è **tenuto** al versamento della prima rata di tasse, qualora non sia stata già versata, dell'indennità di congedo e a regolarizzare eventuali posizioni debitorie.

## **Trasferimenti ad altro ateneo**

Lo studente può trasferirsi presentando domanda alla Segreteria studenti, redatta su apposito modulo in marca da bollo, entro il 29 novembre 2002, fatte salve eventuali diverse scadenze previste dai bandi limitatamente ai trasferimenti su corsi a numero programmato.

Lo studente **non è tenuto** al pagamento della prima rata di tasse per l'anno accademico successivo: È tenuto, invece, a versare un'indennità di congedo e a regolarizzare eventuali posizioni debitorie.

## **Tasse anno accademico 2002-2003**

L'iscrizione all'anno accademico è subordinata al pagamento delle tasse universitarie, da versare in due rate annue. La prima rata deve essere corrisposta al momento dell'immatricolazione e/o dell'iscrizione, nei termini previsti; la seconda entro il 31 marzo.

L'importo delle tasse varia a seconda del corso di studio (vedi: [www.unibo.it](http://www.unibo.it)), dello stato dello studente (in corso o fuori corso) e dei diversi servizi erogati.

Per gli studenti che risulteranno assegnatari di una fascia di contribuzione ridotta, secondo i

relativi bandi pubblicati dall'Arstud e dall'Università di Bologna (vedi ([www.arstud.unibo.it](http://www.arstud.unibo.it)), saranno stabiliti importi differenziati.

Nell'importo complessivo delle tasse, sono comprese le seguenti voci: **tassa di iscrizione** (contributo definito per legge che si deve pagare per poter usufruire di un servizio), **assicurazione studenti** (tutti gli studenti dell'Università di Bologna sono assicurati contro gli infortuni), **bollo**, **tassa regionale per il diritto allo studio** (contributo richiesto dalla Regione Emilia-Romagna per incrementare gli aiuti forniti allo studio), **contributo** (è ciò che si deve pagare per poter usufruire di specifici servizi per la didattica e la ricerca, come ad es: laboratori, attrezzature).

## Regolamento studenti

Dal luglio 2001 è entrato in vigore il nuovo Regolamento Studenti dell'Università di Bologna, che regola in maniera nuova la carriera degli studenti.

Tale Regolamento, che è espressione dell'autonomia universitaria e applicazione della riforma (D.M. 509/99), si applica a **tutti gli studenti del nostro Ateneo**, anche se, talvolta, regole differenti sono necessariamente previste per gli studenti appartenenti ai vecchi ordinamenti.

Di seguito sono riassunte le principali novità. Il testo integrale del nuovo Regolamento Studenti è consultabile presso tutte le Segreterie Studenti e presso L'U.R.P. e disponibile sul sito Web dell'Università: [www.unibo.it](http://www.unibo.it)

– **ISCRIZIONE TARDIVA.** La principale novità consiste nel fatto che l'iscrizione tardiva (dopo il 31 dicembre) non influisce più sulla normale progressione di carriera. In altre parole, chi ha titolo per iscriversi in corso, lo fa anche se paga la prima rata di tasse dopo il 31 dicembre. **Attenzione!** Sarà, però, assoggettata al pagamento di una **ulteriore** indennità di mora di € 178,17. Resta fermo il principio per cui non si possono sostenere esami nella sessione dell'anno accademico per il quale non si è rinnovata l'iscrizione e che tale iscrizione in corso non è valida ai fini di ottenere i benefici previsti da Bandi ARSTUD e Università.

– **ISCRIZIONE FUORI CORSO.** Si iscrive fuori corso lo studente che si è già iscritto a tutti gli anni di corso previsti dal percorso didattico scelto e che, nei corsi a frequenza obbligatoria, ha ottenuto tutte le attestazioni di frequenza.

– **DECADENZA PER GLI ISCRITTI AI VECCHI ORDINAMENTI.** Rimane del tutto immutata la regolamentazione per gli iscritti ai vecchi ordinamenti: decadono gli iscritti fuori corso che non sostengono esami per 8 anni accademici consecutivi. Il conteggio degli 8 anni decorre dalla data più favorevole tra quella in cui lo studente si è trovato nella condizione di fuori corso e quella dell'ultimo esame sostenuto. La decadenza non colpisce chi sia in debito del solo esame finale.

– **INTERRUZIONE E RICONGIUNZIONE DELLA CARRIERA.** Chi non ha rinnovato l'iscrizione per uno o più anni accademici, se vuole riprendere gli studi, deve chiedere la ricongiunzione e pagare, per ogni anno d'interruzione, la tassa di ricognizione. Gli anni di interruzione sono comunque calcolati ai fini della decadenza dagli studi. **Cambia però il termine a partire dal quale la ricongiunzione può essere chiesta. Non è più il primo novembre bensì il successivo primo gennaio**

(Le disposizioni sopra indicate si applicano anche a coloro che interrompono la carriera per iscriversi a corsi di studi all'estero al di fuori di progetti e convenzioni di collaborazione internazionale universitaria o ad Istituti di formazione militare italiani)

## Rinuncia

Gli studenti che non intendono continuare gli studi intrapresi hanno facoltà di rinunciare agli stessi, ancorché non si sia verificata la decadenza. La rinuncia deve essere manifestata con atto

scritto, redatto su apposito modulo in marca da bollo o carta legale, senza alcuna condizione, termine o clausola che ne restringano l'efficacia. Essa sarà **irrevocabile** e lo studente, pertanto, non potrà far rivivere in avvenire la sua precedente carriera scolastica già estinta per effetto della rinuncia. Lo studente rinunciatario non ha diritto ad alcun rimborso di tasse già pagate.

### **Diritti e doveri dello studente**

L'Alma Mater Studiorum Università di Bologna assicura forme e strumenti di pubblicità dei procedimenti e delle decisioni assunte in merito alle carriere degli studenti.

L'Università, altresì, promuove la partecipazione degli studenti ai procedimenti relativi allo svolgimento della loro carriera.

Lo studente ha facoltà di sollecitare l'intervento del Garante d'Ateneo, nel caso in cui si ritenga leso nei propri diritti o interessi.

In ogni caso, avverso i provvedimenti relativi alla carriera degli studenti, è ammesso ricorso giurisdizionale al Tribunale Amministrativo Regionale dell'Emilia-Romagna.  
(art.18 – Nuovo Regolamento Studenti)

Gli studenti dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna durante il corso dei loro studi sono tenuti ad osservare comportamenti rispettosi della legge, dei regolamenti universitari, delle libertà e dei diritti di tutti i soggetti che svolgono la loro attività di lavoro o di studio all'interno delle strutture dell'Ateneo e ad astenersi dal danneggiamento dei beni di proprietà dell'Ateneo o di terzi, che anche temporaneamente vi si trovino.

Le violazioni delle norme di disciplina dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna comportano a carico dei trasgressori l'applicazione di provvedimenti disciplinari.

Nel caso di comportamenti degli studenti che possano integrare anche fattispecie di reato l'Alma Mater Studiorum Università di Bologna provvede tempestivamente ad informare l'Autorità Giudiziaria ed adotta i conseguenti provvedimenti previsti dalla legge.  
(art.19 – Nuovo Regolamento Studenti)

## **CALENDARIO**

### **CALENDARIO LEZIONI**

Insegnamenti a svolgimento intensivo su 2 cicli didattici

**I ciclo:** 23 settembre 2002 - 21 dicembre 2002

**II ciclo:** 3 marzo 2003 – 7 giugno 2003

### **DU in Ing. dell'Ambiente e delle Risorse**

**I ciclo** 23 settembre 2002 – 23 novembre 2002 (8 settimane + 1 di sospensione)

**II ciclo** 13 gennaio 2003 – 15 marzo 2003 (8 settimane + 1 di sospensione)

**III ciclo** 23 aprile 2003 – 17 giugno 2003 (8 settimane)

### **Corso di laurea in Ing. Edile**

Insegnamenti a svolgimento estensivo

23 settembre 2002 – 21 dicembre 2002 & 3 marzo 2003 – 16 aprile 2003

**Vacanze pasquali:** 17 aprile 2003 – 22 aprile 2003

## CALENDARIO ESAMI DI PROFITTO

Per tutti i Corsi di Studio devono essere fissati almeno sei appelli al di fuori dei periodi di lezione, di cui almeno due nel periodo immediatamente successivo alla fine dell'attività formativa ed almeno uno in ogni altro periodo.

## CALENDARIO ESAMI DI LAUREA

AA 2001/02

### III SESSIONE

MERCOLEDÌ 12/2/2003

MERCOLEDÌ 19/3/2003

AA 2002/03

### I SESSIONE

MARTEDÌ 17/6/2003

MERCOLEDÌ 23/7/2003

### II SESSIONE

GIOVEDÌ 23/10/2003

MERCOLEDÌ 17/12/2003

### III SESSIONE

MARTEDÌ 10/2/2004

MERCOLEDÌ 17/3/2004

Le domande di ammissione all'esame di laurea dovranno essere presentate entro i termini fissati dall'Ateneo (15/5 - 15/9 - 15/1) fermo restando l'obbligo di presentare la restante documentazione entro i termini sopra indicati (20 giorni prima della data fissata per l'esame di laurea).

La domanda di laurea va rinnovata per ogni sessione che si intende utilizzare a tal fine.

Per essere ammesso all'esame di laurea lo studente dovrà aver seguito i corsi e superato gli esami relativi ad un minimo di 28 annualità per i Corsi di Laurea in Ingegneria Chimica, delle Telecomunicazioni, Gestionale, Elettrica, Elettronica, Informatica, per l'Ambiente e il Territorio. Per i restanti Corsi di Laurea (come pure per tutti gli studenti appartenenti al vecchio ordinamento, a qualsiasi Corso di Laurea siano iscritti) tale numero è di 29.

L'esame di laurea consiste nella discussione di una tesi attinente ad una o più materie del Corso di Laurea. Il relatore deve essere un docente della Facoltà.

**Lo studente non è ammesso a sostenere la prova finale, qualora non sia in regola con il versamento delle tasse e dei contributi dovuti.**

---

## CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE (2140)

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Alberto Corlaita**

Lo scopo fondamentale del Corso di laurea in Ingegneria Edile è quello di formare un professionista chiamato ad operare nel campo dell'architettura e dell'urbanistica. Un Ingegnere Edile deve essere in grado di elaborare progetti che soddisfino le esigenze di natura pratica ed estetica dell'uomo e della sua società e che, allo stesso tempo, tengano conto delle caratteristiche strutturali ed ambientali degli edifici e delle città inserite nel contesto in cui sorgono.

La figura professionale dell'ingegnere edile si deve distinguere per la capacità di applicare il rigore della metodologia scientifica, la teoria e la pratica delle scienze matematiche e fisiche, i principi ed i fondamenti delle discipline tecnologiche ed economiche congiuntamente con le metodologie e l'approccio della critica storica ed estetica ai problemi dell'architettura e dell'urbanistica. Egli deve essere inoltre, in grado di analizzare ed interpretare fattori di carattere naturale e culturale per affrontare e fornire soluzioni ai problemi che gli vengono sottoposti, di gestire e controllare i processi progettuali e produttivi all'interno degli ambiti e dei limiti imposti dall'economia e dalla legislazione.

### Struttura del Corso

L'acquisizione delle necessarie conoscenze matematiche è ottenuta attraverso gli esami di Analisi Matematica I e II e di Geometria. Le generali conoscenze ed esperienze dei fenomeni chimici e fisici sono fornite dai corsi di Fisica I e II e da quello di Chimica. Segue un corso di Meccanica Razionale che introduce allo studio delle scienze applicate peculiari per la formazione di un ingegnere. Il corso di Fondamenti di Informatica fornisce la base per la conoscenza e l'uso dei moderni strumenti per il calcolo, il progetto e la gestione.

La cultura scientifica applicata ai fondamentali problemi dell'ingegneria è acquisita attraverso i corsi di Fisica Tecnica, Idraulica, Scienza delle Costruzioni, Geotecnica e Tecnica delle Costruzioni. Gli insegnamenti di Disegno, Storia dell'architettura e Urbanistica, Tecnica Urbanistica, Architettura Tecnica e Composizione Architettonica hanno lo scopo di fornire le basi e la preparazione per configurare, analizzare e valutare (da differenti punti di vista) i problemi con i quali un Ingegnere Edile si trova a far fronte nel campo dell'architettura e della progettazione e pianificazione urbanistica.

Specifici problemi progettuali sono risolti in una prima fase attraverso lo studio in modo teorico di un gruppo di temi affrontati con particolare riguardo agli aspetti della composizione, della tecnologia e dell'architettura dell'oggetto; in una seconda fase, tali problemi, sono affrontati attraverso la composizione e progettazione architettonica e urbana e progetti di ristrutturazione e di risanamento edilizio.

Accanto ai singoli corsi di insegnamento sono previsti cinque laboratori interdisciplinari, uno per ogni anno del corso di laurea, destinati ad attività di supporto, di studio e di progettazione applicata.

### ANNO I (disattivato)

214000000000151 ANALISI MATEMATICA I

214000000002401 DISEGNO

2140000000037571 STORIA DELL'ARCHITETTURA I

2140000000004151 FISICA GENERALE I

2140000000097571 GEOMETRIA E ALGEBRA

- 2140000000126991 LABORATORIO I ANNO: (Disegno e Storia dell' Architettura: 100 ore)  
 2140000000020581 PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

### ANNO II (disattivato)

- 2140000000013542 ANALISI MATEMATICA II  
 2140000000002442 DISEGNO II  
 21400000000097302 FONDAMENTI DI INFORMATICA  
 2140000000013792 MECCANICA RAZIONALE  
 2140000000047572 STORIA DELL' ARCHITETTURA II  
 21400000000127002 LABORATORIO II ANNO:  
 (Disegno II e Storia dell' Architettura II: 100 ore)

### ANNO III

- 2140000000008903 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI  
 2140000000004303 FISICA TECNICA 2 ciclo  
 2140000000004903 IDRAULICA 2 ciclo  
 2140000000011823 TECNICA URBANISTICA I 1 ciclo  
 2140000000000882 CHIMICA 1 ciclo  
 21400000000127023 ESTIMO 2 ciclo  
 21400000000127013 LABORATORIO III ANNO:

(orientamento A-B-C:  
 Tecnica Urbanistica I e Composizione e progettazione urbana: 200 ore  
 orientamento D-E-F:  
 Tecnica Urbanistica I e Teorie e tecniche della progettazione architettonica: 200 ore)

1 insegnamento di orientamento fra:

Orientamento A-B-C:

- 21400000000126603 COMPOSIZIONE E PROGETTAZIONE URBANA 1 ciclo

Orientamento D-E-F:

- 21400000000540953 TEORIE E TECNICHE DELLA PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA 1 ciclo

### ANNO IV

- 21400000000021144 ARCHITETTURA TECNICA I 1 ciclo  
 21400000000020074 GEOTECNICA  
 21400000000090474 TECNICA DELLE COSTRUZIONI  
 21400000000038694 ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE  
 ARCHITETTONICA I 2 ciclo  
 21400000000048394 ECONOMIA REGIONALE 2 ciclo  
 21400000000132604 LABORATORIO IV:

(Architettura Tecnica I, Architettura e Composizione architettonica e Tecnica delle Costruzioni: 200 ore)

1 insegnamento di orientamento fra:

Orientamento A

- 2140000000010614 TOPOGRAFIA 2 ciclo



	Orientamenti B-E	
214000000010434	TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA	1 ciclo
	Orientamenti C-D	
214000000092354	TECNICA URBANISTICA II	2 ciclo
	Orientamento F	
2140000000117084	IMPIANTI TECNICI	2 ciclo

### ANNO V

214000000038705	ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA II	
214000000530775	PROGETTI PER LA RISTRUTTURAZIONE E IL RISANAMENTO EDILIZIO	2 ciclo
2140000000111705	ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE	2 ciclo
2140000000004172	FISICA GENERALE II	1 ciclo
2140000000132615	LABORATORIO V: (Architettura e composizione architettonica, Architettura tecnica II, Caratteri costruttivi e distributivi degli edifici, Progetti per la ristrutturazione e il risanamento edilizio: 200 ore) + 1 insegnamento di orientamento fra: orientamento A-C-F:	
2140000000022145	ARCHITETTURA TECNICA II	
	orientamento B-D-E:	
2140000000504045	CARATTERI COSTRUTTIVI E DISTRIBUTIVI DEGLI EDIFICI + 1 insegnamento di orientamento fra: orientamento C:	
2140000000126565	DISEGNO DELL'ARCHITETTURA	2 ciclo
	orientamenti A-B:	
2140000000138735	PROGETTAZIONE DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI	2 ciclo
	orientamenti C-D:	
214000000090435	INGEGNERIA DEL TERRITORIO	1 ciclo
2140000000529705	PIANIFICAZIONE E GESTIONE DELLE AREE METROPOLITANE	1 ciclo
2140000000543965	TECNICHE DI ANALISI URBANE E TERRITORIALI	1 ciclo
	orientamento E:	
2140000000117045	COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA	2 ciclo
2140000000134715	MECCANICA COMPUTAZIONALE DELLE STRUTTURE	
2140000000534545	(sem.) SPERIMENTAZIONE DEI MATERIALI, DEI MODELLI E DELLE STRUTTURE	1 ciclo
2140000000537795	(sem.) TEORIA E PROGETTO DELLE COSTRUZIONI IN ACCIAIO	1 ciclo
2140000000021445	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI II	2 ciclo
2140000000537795	(sem.) STRUTTURE DI FONDAZIONE	2 ciclo
214000000090465	(sem.) STRUTTURE SPECIALI	2 ciclo
	orientamento F:	
2140000000074345	ACUSTICA APPLICATA	2 ciclo

## **CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA (2141)**

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Giulio Cesare Sarti**

Il Corso di Laurea in Ingegneria Chimica si è particolarmente sviluppato nell'ultimo periodo seguendo le richieste rivolte alla specializzazione dell'industria di trasformazione.

In tal senso la preparazione specifica si sviluppa dallo studio dei fenomeni fisici e chimici fondamentali che intervengono nei processi di separazione (moto dei fluidi, scambi di calore, scambi di materia, reazioni chimiche, ecc.) all'analisi delle principali operazioni unitarie dell'industria chimica (distillazione, estrazione, stripping, ecc.), consentendo specializzazioni diverse, dallo studio dei materiali alla gestione di grandi insiemi di apparati.

I settori fondamentali di studio del Corso di laurea sono pertanto sufficientemente differenziati tra loro da fornire una preparazione professionale tutt'altro che monocolore, bensì poliedrica ed organicamente articolata, trovando comunque radici unificanti negli studi di termodinamica, di fenomeni di trasporto in mezzi continui e di operazioni unitarie.

Le situazioni tecnicamente rilevanti in cui tali settori trovano applicazione nei processi di trasformazione sono varie ed apparentemente molto differenziate, riguardando le industrie chimiche e petrolchimiche propriamente intese e parimenti altri settori quali quello farmaceutico, alimentare, nucleare, biomedico, del disinquinamento e dell'energia.

In tale prospettiva l'organizzazione degli studi che viene offerta è volta a fornire una solida preparazione fondamentale e di spettro abbastanza ampio ed insieme una specializzazione più specifica in un settore di Indirizzo.

Il Corso di laurea offre tre Indirizzi di specializzazione riguardanti i settori dei Materiali, dei processi E dell'ambiente.

### **Indirizzo Materiali**

Ha lo scopo di fornire una adeguata preparazione specifica sui materiali, che partendo dalle relazioni generali tra struttura e proprietà permetta di affrontare razionalmente i problemi connessi alla produzione e alla utilizzazione pratica dei materiali di interesse ingegneristico.

### **Indirizzo Processi - Impianti**

Fornisce elementi per lo studio dei seguenti problemi concernenti lo sviluppo di un processo chimico:

- individuazione di investimenti ottimali; scelta, in base a criteri economici, fra soluzioni tecnicamente possibili;
- metodologie per lo studio dello schema tecnologico del processo (bilanci di materia ed energia, simulazione) e criteri per la ricerca della configurazione ottimale dell'impianto;
- studio della dinamica delle principali apparecchiature chimiche e dei relativi schemi di controllo;
- metodologie per lo sviluppo del progetto tecnologico e del lavoro di progettazione impiantistica e per il dimensionamento dei componenti meccanici e strutturali delle apparecchiature chimiche.

**Indirizzo Ambiente**

Scopo dell'indirizzo è quello di fornire gli elementi essenziali per la gestione dei problemi di salvaguardia ambientale per consentire, sulla base anche delle conoscenze di ingegneria di processo acquisite nei corsi fondamentali, una visione organica degli interventi possibili.

**ANNO I (disattivato)**

- 214100000000151 ANALISI MATEMATICA I  
 2141000000000881 CHIMICA  
 2141000000004151 FISICA GENERALE I  
 2141000000097301 FONDAMENTI DI INFORMATICA  
 2141000000097571 GEOMETRIA E ALGEBRA  
 2141000000020581 PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

**ANNO II (disattivato)**

- 2141000000013542 ANALISI MATEMATICA II  
 2141000000001482 CHIMICA ORGANICA  
 2141000000004172 FISICA GENERALE II  
 21410000000512802 (sem.) ELEMENTI DI TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA: BILANCIAMENTO DI MATERIA ED ENERGIA (SEMESTRALE)  
 2141000000132382 (sem.) FONDAMENTI DI CHIMICA INDUSTRIALE  
 2141000000013792 MECCANICA RAZIONALE

**ANNO III**

- 2141000000067933 ELETTROTECNICA 1 ciclo  
 2141000000008903 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI 1 ciclo  
 2141000000079513 TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA 1 ciclo  
 2141000000092683 ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE 2 ciclo  
 21410000000543753 FONDAMENTI E METODI DELLA PROGETTAZIONE INDUSTRIALE 2 ciclo  
 2141000000064173 PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA I 2 ciclo

**ANNO IV**

- 2141000000005034 IMPIANTI CHIMICI I 1 ciclo  
 2141000000006634 MACCHINE 1 ciclo  
 2141000000046414 PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II 1 ciclo  
 2141000000022354 SCIENZA DEI MATERIALI 2 ciclo  
 2141000000112414 TEORIA DELLO SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI 2 ciclo  
 1 insegnamento di orientamento

**ANNO V**

- 2141000000099415 ANALISI DI SICUREZZA NELL'INDUSTRIA DI PROCESSO 1 ciclo  
 2141000000005025 IMPIANTI CHIMICI II 1 ciclo  
 2141000000001375 CHIMICA INDUSTRIALE 1 ciclo  
 2141000000085455 DINAMICA E CONTROLLO DEI PROCESSI CHIMICI 2 ciclo

2 insegnamenti di orientamento (1)  
ovvero 1 insegnamento di orientamento ed un tirocinio Pratico (2)

### 1) Orientamento **Ambiente e Sicurezza**

costituito dai seguenti 2 insegnamenti:

2141000000111375	INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE	(V)	2 ciclo
2141000000104024	PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE	(IV)	2 ciclo
più 1 annualità preferibilmente scelta tra le seguenti:			
2141000000134685	GESTIONE DELL'INNOVAZIONE E DEI PROGETTI	(V)	1 ciclo
2141000000079475	(sem.)MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO	(V)	1 ciclo
2141000000539425	TECNOLOGIA BIOLOGICO-AMBIENTALE (CORSO INTEGRATO: MICROBIOLOGIA AMBIENTALE+IMPIANTI BIOCHIMICI AMBIENTALI)	(V)	1 ciclo
2141000000041355	(sem.) IDROGEOLOGIA APPLICATA	(V)	2 ciclo
2141000000016885	TIROCINIO PRATICO (2)		

### 2) Orientamento **Biotechnologie**

costituito dai seguenti 2 insegnamenti:

2141000000081274	BIOCHIMICA INDUSTRIALE	(IV)	2 ciclo
2141000000104045	IMPIANTI BIOCHIMICI	(V)	2 ciclo
più 1 annualità preferibilmente scelta tra le seguenti:			
2141000000134685	GESTIONE DELL'INNOVAZIONE E DEI PROGETTI	(V)	1 ciclo
2141000000112475	IMPIANTI DELL'INDUSTRIA ALIMENTARE	(V)	2 ciclo
2141000000102695	LOGISTICA INDUSTRIALE	(V)	2 ciclo
2141000000016885	TIROCINIO PRATICO (2)		

### 3) Orientamento **Materiali**

costituito da 2 fra i seguenti insegnamenti:

2141000000100195	MATERIALI POLIMERICI	(V)	1 ciclo
2141000000058024	PROPRIETÀ TERMODINAMICHE E DI TRASPORTO	(IV)	2 ciclo
2141000000104055	SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI CERAMICI	(V)	2 ciclo
più 1 annualità preferibilmente scelta tra le precedenti e le seguenti:			
2141000000008865	SCIENZA DEI METALLI	(V)	1 ciclo
2141000000102695	LOGISTICA INDUSTRIALE	(V)	2 ciclo
2141000000016885	TIROCINIO PRATICO (2)		

### 4) Orientamento **Processi**

costituito da 2 fra i seguenti insegnamenti:

2141000000111375	INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE	(V)	2 ciclo
2141000000112475	IMPIANTI DELL'INDUSTRIA ALIMENTARE	(V)	2 ciclo
2141000000058024	PROPRIETÀ TERMODINAMICHE E DI TRASPORTO	(IV)	2 ciclo

2141000000125625	CINETICA CHIMICA APPLICATA (3)	(V)	
	più 1 annualità preferibilmente scelta tra le precedenti e le seguenti:		
2141000000134685	GESTIONE DELL'INNOVAZIONE E DEI PROGETTI	(V)	1 ciclo
2141000000102695	LOGISTICA INDUSTRIALE	(V)	2 ciclo
2141000000016885	TIROCINIO PRATICO (2)		

(1) Gli studenti che hanno optato, negli anni accademici 1997/98-2001/2002 per l'ordinamento 2141 e che hanno sostenuto "Disegno Tecnico Industriale", hanno l'obbligo di scegliere un numero tale di insegnamenti di orientamento pari a due

(2) Il tirocinio potrà essere offerto ad un numero limitato di studenti, sulla base delle effettive disponibilità e del regolamento relativo.

(3) Mutuato dalla Facoltà di Chimica Industriale con Chimica e tecnologia della Catalisi.

## CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (2142)

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Armando Brath**

Il Corso di laurea in Ingegneria civile comprende le discipline che riguardano tanto la progettazione, l'analisi, la realizzazione e l'esercizio delle costruzioni e delle reti infrastrutturali, quanto la pianificazione delle risorse e lo studio degli interventi relativi al territorio.

Il Corso di laurea si articola negli Indirizzi Strutture, Idraulica, Trasporti, Geotecnica, ma solo dei primi tre è prevista al momento l'attivazione in Ateneo. Gli Indirizzi si innestano su un esteso insieme di insegnamenti comuni del Corso di laurea, in quanto al più sei annualità (sulle ventinove complessive) del curriculum, collocate negli ultimi due anni di Corso, caratterizzano un Indirizzo.

### Indirizzo Idraulica

L'Indirizzo Idraulica è previsto per gli allievi che desiderano approfondire lo studio (progettazione, analisi, esercizio) delle infrastrutture idrauliche. Le materie di indirizzo riguardano lo studio del ciclo idrologico, le opere marittime e fluviali, le reti idrauliche di trasporto, di distribuzione e di smaltimento per usi potabili e industriali, urbani ed agricoli, gli interventi per la difesa e la conservazione del suolo, gli impianti di trattamento delle acque, la pianificazione e la gestione delle risorse idriche.

È articolato in cinque Orientamenti, che sviluppano in modo coordinato argomenti specialistici.

### Indirizzo Strutture

L'Indirizzo Strutture è svolto a preparare gli allievi nell'ambito dell'ingegneria strutturale. Gli argomenti previsti negli insegnamenti obbligatori costituiscono prosecuzione e approfondimento di quelli di carattere statico e costruttivo trattati negli insegnamenti comuni del Corso di laurea. Gli insegnamenti a scelta sono coordinati in gruppi riguardanti gli aspetti teorici e applicativi dei problemi delle costruzioni con riferimento ai materiali, all'analisi e alla progettazione

per tipologie strutturali diversificate come sistema costruttivo o per impiego, alle tecniche di esecuzione.

### **Indirizzo Trasporti**

L'indirizzo Trasporti affronta tutti i problemi che hanno come matrice comune il trasferimento di persone e merci, secondo due grandi filoni di ricerca e di esigenze tecnico-professionali dell'Ingegneria Civile Trasporti, rispettivamente l'organizzazione dei servizi e la progettazione dei sistemi.

I temi fondamentali componenti il primo settore riguardano la pianificazione e l'esercizio dei sistemi di trasporto con particolare riferimento alla stima della domanda, l'organizzazione delle reti e delle aziende di trasporto pubblico, la gestione ed il controllo della circolazione privata, nel rispetto dei vincoli di capacità fisica ed ambientale.

A loro volta i temi fondamentali costituenti il secondo settore sono individuabili nella progettazione funzionale di sistemi semplici e complessi e dei veicoli, nella progettazione geometrica e costruttiva delle infrastrutture di trasporto, nella gestione e manutenzione delle infrastrutture, in base a criteri di sicurezza

#### **ANNO I (disattivato)**

- 214200000000151 ANALISI MATEMATICA I  
 2142000000002401 DISEGNO  
 2142000000000881 CHIMICA  
 2142000000004151 FISICA GENERALE I  
 21420000000097571 GEOMETRIA E ALGEBRA  
 2142000000020581 PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

#### **ANNO II (disattivato)**

- 2142000000013542 ANALISI MATEMATICA I  
 2142000000004172 FISICA GENERALE II  
 2142000000010432 TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA  
 21420000000097302 FONDAMENTI DI INFORMATICA  
 2142000000083252 (sem.) ISTITUZIONI DI ECONOMIA  
 2142000000013792 MECCANICA RAZIONALE

#### **ANNO III**

- |                   |                           |         |
|-------------------|---------------------------|---------|
| 2142000000008903  | SCIENZA DELLE COSTRUZIONI | 1 ciclo |
| 2142000000010613  | TOPOGRAFIA                | 2 ciclo |
| 21420000000067933 | (sem.) ELETTROTECNICA     | 1 ciclo |
| 2142000000004303  | (sem.) FISICA TECNICA     | 1 ciclo |
| 2142000000004903  | IDRAULICA                 | 1 ciclo |
| 2142000000010163  | TECNICA URBANISTICA       | 2 ciclo |
| 21420000000127043 | (sem.) GEOLOGIA           | 2 ciclo |

### **INDIRIZZO IDRAULICA**

#### **ANNO IV**

- |                   |                        |         |
|-------------------|------------------------|---------|
| 21421090000000514 | ARCHITETTURA TECNICA   | 2 ciclo |
| 21421090000002064 | COSTRUZIONI IDRAULICHE | 1 ciclo |
| 21421090000020074 | GEOTECNICA             | 2 ciclo |

2142109000090474	TECNICA DELLE COSTRUZIONI	1 ciclo
2142109000004934	IDROLOGIA	1 ciclo
2142109000006634	(sem.) MACCHINE	1 ciclo
2142109000010314	TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI	1 ciclo
2142109000024294	(sem.) ESTIMO	2 ciclo

#### ANNO V

2142109000113505	TECNICA DEI LAVORI IDRAULICI	2 ciclo
2142109000005185	IMPIANTI SPECIALI IDRAULICI	1 ciclo
2142109000509445	COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI	1 ciclo

2142109000111725	Orientamento 1 Territorio PROTEZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO più 2 annualità a scelta	1 ciclo
------------------	--	---------

2142109000017245	Orientamento 2 Pianificazione GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE più 2 annualità a scelta	2 ciclo
------------------	---	---------

2142109000117125	Orientamento 3 Idraulica applicata MODELLISTICA IDRAULICA più 2 annualità a scelta	2 ciclo
------------------	--	---------

2142109000024245	Orientamento 4 Marittimo COSTRUZIONI MARITTIME più 2 annualità a scelta	1 ciclo
------------------	---	---------

2142109000518525	Orientamento 5 Sanitario Ambientale INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE più 2 annualità a scelta	2 ciclo
------------------	--	---------

Le annualità a scelta vanno prese tra gli insegnamenti degli orientamenti precedenti non facenti parte di quello prescelto o tra quelle del gruppo seguente:

2142109000117085	IMPIANTI TECNICI	1 ciclo
2142109000034805	TECNICA DELLE COSTRUZIONI II	1 ciclo
2142109000106725	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	1 ciclo
2142109000016565	FOTOGRAMMETRIA	1 ciclo
2142109000000025	AERODINAMICA	2 ciclo
2142109000068785	(sem.) ELETTROTECNICA II	2 ciclo
2142109000400115	IDROLOGIA II	2 ciclo
2142109000127065	(sem.) MACCHINE II	2 ciclo
2142109000102045	MISURE E CONTROLLI IDRAULICI	2 ciclo
2142109000111805	TOPOGRAFIA II	2 ciclo

#### INDIRIZZO STRUTTURE

##### ANNO IV

21422080000000514	ARCHITETTURA TECNICA	2 ciclo
2142208000020074	GEOTECNICA	2 ciclo
2142208000090474	TECNICA DELLE COSTRUZIONI	1 ciclo

214220800006634	(sem.) MACCHINE	1 ciclo
2142208000010314	TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI	1 ciclo
2142208000024294	(sem.) ESTIMO	2 ciclo
2142208000021444	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI II	2 ciclo

	Orientamento C (Rilevamento)	
2142208000111804	TOPOGRAFIA II	2 ciclo

	Orientamento D (Costruzioni 1)	
2142208000062004	DINAMICA DELLE STRUTTURE	2 ciclo

	Orientamento A-B-E-F-G-H	
2142208000509445	COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (1)	1 ciclo
	oppure 1 materia a scelta del IV anno.	

#### ANNO V

2142208000002065	COSTRUZIONI IDRAULICHE	1 ciclo
2142208000034805	TECNICA DELLE COSTRUZIONI II	1 ciclo
2142208000111705	ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE	2 ciclo

	Orientamento A (Architettura)	
2142208000000505	ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA	2 ciclo

2142208000509445	COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (1) (4)	1 ciclo
	2 annualità a scelta (3)	

	Orientamento B (Ristrutturazione)	
2142208000530775	PROGETTI PER LA RISTRUTTURAZIONE E IL RISANAMENTO EDILIZIO	2 ciclo

2142208000509445	COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (1) (4)	1 ciclo
	2 annualità a scelta (3)	

	Orientamento C (Rilevamento)	
2142208000509445	COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (1) (4)	1 ciclo

2142208000016565	FOTOGRAMMETRIA	1 ciclo
	1 annualità a scelta	

	Orientamento D (Costruzioni 1)	
2142208000509445	COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (1) (4)	1 ciclo

	2 annualità a scelta	
--	----------------------	--

	Orientamento E (Costruzioni 2)	
2142208000134715	MECCANICA COMPUTAZIONALE DELLE STRUTTURE	2 ciclo



2142208000509445	<b>COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (1) (4)</b>	1 ciclo
	2 annualità a scelta (3)	
	<b>Orientamento F (Costruzioni 3)</b>	
2142208000117045	<b>COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA</b>	2 ciclo
2142208000509445	<b>COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (1) (4)</b>	1 ciclo
	2 annualità a scelta (3)	
	<b>Orientamento G (Costruzioni 4)</b>	
2142208000134725	<b>TEORIA E PROGETTO DEI PONTI</b>	2 ciclo
2142208000509445	<b>COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (1) (4)</b>	1 ciclo
	2 annualità a scelta (3)	
	<b>Orientamento H (Geotecnica)</b>	
2142208000041145	<b>MECCANICA DELLE ROCCE</b>	1 ciclo
2142208000509445	<b>COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (1) (4)</b>	1 ciclo
2142208000041255	<b>CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI</b>	2 ciclo
	1 annualità a scelta, solo per chi abbia collocato l'esame di "Costruzioni di SS.FF.AA." al IV anno	
<p>Le annualità a scelta vanno prese tra gli insegnamenti degli orientamenti precedenti non facenti parte di quello prescelto o tra quelle del gruppo seguente:</p>		
2142208000504045	<b>CARATTERI COSTRUTTIVI E DISTRIBUTIVI DEGLI EDIFICI</b>	1 ciclo
2142208000509525	<b>COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA E INGEGNERIA DEL TERRITORIO (CORSO INTEGRATO)</b>	2 ciclo
2142208000117085	<b>IMPIANTI TECNICI</b>	1 ciclo
2142208000106724	<b>CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE</b>	1 ciclo
2142208000002444	<b>DISEGNO II</b>	2 ciclo
2142208000534545	(sem.) <b>SPERIMENTAZIONE DEI MATERIALI, DEI MODELLI E DELLE STRUTTURE</b>	2 ciclo
2142208000540365	(sem.) <b>TEORIA E PROGETTO DELLE COSTRUZIONI IN ACCIAIO</b>	1 ciclo
2142208000000025	<b>AERODINAMICA</b>	2 ciclo
2142208000047575	<b>STORIA DELL'ARCHITETTURA II</b>	2 ciclo
2142208000537795	(sem.) <b>STRUTTURE DI FONDAZIONE</b>	2 ciclo
2142208000090465	(sem.) <b>STRUTTURE SPECIALI</b>	2 ciclo
<b>INDIRIZZO TRASPORTI</b>		
<b>ANNO IV</b>		
2142220000000514	<b>ARCHITETTURA TECNICA</b>	2 ciclo
2142220000020074	<b>GEOTECNICA</b>	2 ciclo
2142220000090474	<b>TECNICA DELLE COSTRUZIONI</b>	1 ciclo
2142220000509444	<b>COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI</b>	1 ciclo

214222000006634	(sem.) MACCHINE	1 ciclo
2142220000010314	TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI	1 ciclo
2142220000024294	(sem.) ESTIMO	2 ciclo
2142220000046794	PIANIFICAZIONE DEI TRASPORTI	2 ciclo

#### ANNO V

214222000002065	COSTRUZIONI IDRAULICHE	1 ciclo
2142220000134745	FONDAMENTI DI INFRASTRUTTURE VIARIE	1 ciclo
21422200000509475	COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI II	2 ciclo
2142220000111775	TEORIA E TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE	1 ciclo

#### Orientamento 1 Infrastrutture

2142220000537995	TECNICA DEI LAVORI STRADALI, FERROVIARI ED AEROPORTUALI	1 ciclo
------------------	---	---------

1 annualità a scelta

#### Orientamento 2 Impianti

2142220000134765	TERMINALI E IMPIANTI DEI TRASPORTI	2 ciclo
------------------	------------------------------------	---------

1 annualità a scelta

#### Orientamento 3 Trazione

2142220000067765	SISTEMI DI TRAZIONE	2 ciclo
------------------	---------------------	---------

1 annualità a scelta

L'annualità a scelta va presa con le seguenti opzioni:

- Un insegnamento caratterizzante un orientamento diverso da quello prescelto
- Un insegnamento fra quelli di seguito elencati
- Un insegnamento fra tutti quelli del Corso di laurea in Ingegneria Civile

2142220000134725	TEORIA E PROGETTO DEI PONTI	2 ciclo
2142220000106725	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	1 ciclo
2142220000016565	FOTOGRAMMETRIA	1 ciclo
2142220000074345	ACUSTICA APPLICATA	2 ciclo
2142220000041255	CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI	2 ciclo
2142220000068785	(sem.) ELETTROTECNICA II	2 ciclo
21422200000521245	LEGISLAZIONE DELLE OPERE PUBBLICHE E DELL'EDILIZIA	2 ciclo
2142220000127065	(sem.) MACCHINE II	2 ciclo
2142220000111805	TOPOGRAFIA II	2 ciclo

(1) L'insegnamento deve necessariamente far parte della carriera dello studente.

Se non scelto al IV anno, dovrà esserlo obbligatoriamente al V.

(2) L'insegnamento di "Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti" non è sostituibile.

(3) Solo 1 annualità a scelta per chi non abbia collocato "Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti" al 4° anno

(4) Solo per coloro che non l'hanno scelto al IV anno.

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI (2143) (2163)****Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Giovanni Emanuele Corazza**

È da tempo ben delineata la figura professionale dell'ingegnere delle Telecomunicazioni: egli deve saper pianificare, progettare, sviluppare e gestire sistemi elettronici complessi per l'elaborazione, la trasmissione, la distribuzione e la diffusione dell'informazione mediante opportuni segnali. Tali sistemi realizzano un'ampia gamma di servizi di notevole rilievo tecnico, economico e sociale quali, ad esempio, quelli telefonici, telematici e di trasmissione dati; la diffusione di programmi radio e TV; l'elettronica civile; la radioassistenza alla navigazione aerea, marittima e al traffico su strada; la radiolocalizzazione; telerilevamento e telemisure.

In tale contesto grande importanza assumono le reti di telecomunicazione ed i relativi sistemi di commutazione di circuito e di pacchetto, che stanno evolvendo verso una soluzione totalmente numerica e verso una gestione dinamica e ottimizzata degli instradamenti e dei servizi.

Obiettivo del Corso di laurea in ingegneria delle Telecomunicazioni è appunto la formazione di un ingegnere capace di operare da un lato nell'industria manifatturiera (delle telecomunicazioni terrestri e via satellite, deinterminali per utenti affari e domestici, ecc.), e da un altro negli enti di servizio (ad esempio, come pianificatori e gestori delle reti, fornitori di informazioni, gestori di sistemi di radio e telediffusione), negli Enti di controllo del traffico aereo, marittimo e terrestre, nei laboratori che fanno ampio uso della elaborazione dei segnali, ecc.

Per tale ingegnere si richiede, oltre ad una solida preparazione di base, una sicura conoscenza della teoria delle comunicazioni e dell'elettromagnetismo, dei segnali e del loro trattamento, dei sistemi di telecomunicazione ed informatici, delle tecnologie e delle apparecchiature elettroniche.

Si richiedono inoltre conoscenze orientate alle reti, alla loro ottimizzazione, ai servizi telematici, alla commutazione per gli ingegneri che opereranno essenzialmente nel campo della distribuzione dell'informazione, e conoscenze più orientate all'elettromagnetismo ed alle sue applicazioni, alla trasmissione radio e ottica, ai metodi di estrazione dei segnali dai disturbi, ecc., per gli ingegneri che opereranno essenzialmente nel campo della trasmissione.

**Per gli immatricolati dall'anno accademico 1999/2000****ANNO I (disattivato)**

- 2163000000153001 ANALISI MATEMATICA A
- 2163000000153021 (sem.) GEOMETRIA E ALGEBRA A
- 2163000000153061 (sem.) ELETTRTECNICA A
- 2163000000153031 FISICA GENERALE M.E.
- 2163000000153051 FONDAMENTI DI INFORMATICA A
- 2163000000153011 (sem.) CHIMICA A
- 2163000000153041 (sem.) RETI LOGICHE A
- 2163000000020581 PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

**ANNO II (disattivato)**

- 2163000000179182 (sem.) CONTROLLI AUTOMATICA L-A
- 2163000000179722 (sem.) ANALISI MATEMATICI L-C
- 2163000000179202 (sem.) MATEMATICA APPLICATA L-A
- 2163000000179222 (sem.) ELETTRONICA L-A
- 2163000000179352 (sem.) FISICA GENERALE L-C
- 2163000000179242 (sem.) COMUNICAZIONI ELETTRICHE L-A

- 2163000000179212 (sem.) CALCOLATORI ELETTRONICI L-A  
 2163000000179232 (sem.) ELETTRONICA L-B  
 2163000000179702 (sem.) COMUNICAZIONI ELETTRICHE L-B  
 2163000000179382 (sem.) PROPAGAZIONE L-A

**ANNO III**

- 2163000000179193 (sem.) CONTROLLI AUTOMATICI L-B  
 2163000000180193 (sem.) GEOMETRIA E ALGEBRA L-B+CALCOLO NUMERICO L-A (CORSO INTEGRATO)  
 2163000000193353 (sem.) CHIMICA L-B  
 2163000000180183 (sem.) CAMPI ELETTROMAGNETICI L-B  
 2163000000187303 (sem.) ELETTROTECNICA L-B  
 2163000000004303 FISICA TECNICA  
 2163000000013793 MECCANICA RAZIONALE  
 2163000000179843 (sem.) FISICA GENERALE L-D

**ANNO IV**

- 2163000000024394 ELETTRONICA APPLICATA II  
 2163000000103834 CALCOLATORI ELETTRONICI I  
 2163000000103934 SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE  
 2163000000103904 RETI DI TELECOMUNICAZIONI  
 2163000000104064 ELABORAZIONE OTTICA DEI SEGNALI  
 2163000000103894 PROPAGAZIONE

Gli insegnamenti relativi agli anni di corso successivi verranno resi noti successivamente.

**Per gli immatricolati fino all'anno accademico 1998/99****ANNO I (disattivato)**

- 2143000000000151 ANALISI MATEMATICA I  
 2143000000079451 FONDAMENTI DI INFORMATICA I  
 2143000000000881 CHIMICA  
 2143000000097571 GEOMETRIA E ALGEBRA  
 2143000000004151 FISICA GENERALE I  
 2143000000020581 PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

**ANNO II (disattivato)**

- 2143000000013542 ANALISI MATEMATICA II  
 2143000000004172 FISICA GENERALE II  
 2143000000079462 FONDAMENTI DI INFORMATICA II  
 21430000000067932 ELETTROTECNICA  
 2143000000004302 FISICA TECNICA  
 2143000000013792 MECCANICA RAZIONALE

**ANNO III (disattivato)**

- 21430000000063723 ANALISI MATEMATICA III  
 2143000000001963 CONTROLLI AUTOMATICI  
 21430000000055793 RETI LOGICHE  
 21430000000079413 CAMPI ELETTROMAGNETICI

214300000001923 COMUNICAZIONI ELETTRICHE  
 2143000000024383 ELETTRONICA APPLICATA I

#### ANNO IV (disattivato)

2143000000103834 CALCOLATORI ELETTRONICI I  
 2143000000024394 ELETTRONICA APPLICATA II  
 2143000000103934 SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE  
 2143000000021264 MISURE ELETTRONICHE  
 2143000000103894 PROPAGAZIONE  
 2143000000103904 RETI DI TELECOMUNICAZIONI

#### ANNO V

2143000000021915	MICROONDE	1 ciclo
2143000000002515	ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE	1 ciclo
2143000000104065	ELABORAZIONE OTTICA DEI SEGNALI	1 ciclo

#### 2 MATERIE A SCELTA COME DI SEGUITO INDICATO:

1 o 2 insegnamenti a scelta tra:

2143000000111475	SISTEMI DI COMMUTAZIONE	2 ciclo
2143000000142795	CIRCUITI A MICROONDE E A ONDE MILLIMETRICHE	2 ciclo
2143000000107205	TRASMISSIONE NUMERICA	2 ciclo

1 o nessuno a scelta tra:

2143000000109075	ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI	
2143000000125645	ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI	
2143000000088625	ELETTRONICA DELLO STATO SOLIDO	
2143000000020375	ELETTRONICA INDUSTRIALE	
2143000000111455	RETI DI CALCOLATORI	1 ciclo
2143000000008845	RICERCA OPERATIVA	1 ciclo
2143000000104135	SENSORI E TRASDUTTORI	1 ciclo
2143000000045245	ANALISI NUMERICA	2 ciclo
2143000000111325	ARCHITETTURA DEI SISTEMI INTEGRATI	
2143000000103845	CALCOLATORI ELETTRONICI II	
2143000000057025	MICROELETTRONICA	
2143000000134775	OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA	2 ciclo
2143000000103945	SISTEMI INFORMATIVI I	2 ciclo
2143000000104075	STRUMENTAZIONE E MISURE ELETTRONICHE	2 ciclo

**NOTA BENE: UN INSEGNAMENTO A SCELTA PUÒ ESSERE SOSTITUITO  
 CON ATTIVITÀ DI TIROCINIO PRATICO**

## CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRICA (2145) (2165)

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Ugo Reggiani**

Il Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica ha come oggetto fondamentale di la generazione, il trasporto, la distribuzione e l'utilizzazione dell'energia elettrica.

Le applicazioni dell'energia elettrica sono svariatissime, cosicché l'ingegnere elettrico deve essere un ingegnere straordinariamente versatile, con una forte preparazione nei principali settori dell'ingegneria, in particolare quelli dell'Elettronica e della Meccanica, oltre che nello specifico settore elettrico.

L'Ingegneria elettrica deriva dalla vecchia e gloriosa Ingegneria Elettrotecnica, adeguata però alle nuove frontiere della tecnologia. Se infatti l'ingegnere elettrotecnico era essenzialmente un ingegnere elettromeccanico, l'ingegnere elettrico, pur senza tradire le sue origini, ha uno spettro di competenze assai più largo, in particolare nei campi dell'Elettronica di potenza, della Automazione, dell'Informatica, dell'Ingegneria dei materiali.

Il curriculum dell'ingegnere elettrico prevede complessivamente 28 esami (oltre alla prova di lingua inglese, comune a tutti i Corsi di Laurea). Nel formulare il suo curriculum, il Corso di Laurea si è prefisso non solo di mantenere ma possibilmente di allargare le prospettive occupazionali e professionali, che sono sempre state particolarmente ampie per un ingegnere di larga preparazione e grande versatilità come l'elettrico; ed ha tenuto presente le nuove occasioni di lavoro nei settori della sicurezza, del rispetto e del risanamento ambientale (anche dal punto di vista dell'inquinamento elettromagnetico e in generale dei problemi legati alla compatibilità elettromagnetica), nella ricerca e nel miglior uso delle fonti energetiche rinnovabili.

Le discipline fondamentali sono 24, di cui nove sono comuni a tutti i corsi di laurea, cioè quattro dell'area della Matematica, due della Fisica, una della Chimica, una dell'Informatica ed una dell'Economia; per quest'ultima area il Corso di laurea ha scelto "Economia applicata all'ingegneria", di contenuto essenzialmente economico, riservando le discipline aziendalistiche gestionali ad una libera scelta dello studente.

L'appartenenza al settore industriale vincola poi la presenza nel curriculum delle discipline ingegneristiche di base quali Meccanica applicata alle macchine, Macchine, Scienza delle costruzioni, Fisica tecnica e Controlli automatici.

Le restanti dieci discipline fondamentali sono tutte caratteristiche dell'ingegneria elettrica: da quelle classiche di base, e cioè "Principi di Ingegneria elettrica" I e II (derivate da "Elettrotecnica" I e II), "Impianti elettrici", "Elettronica", "Macchine elettriche", "Misure elettriche", a quelle più spiccatamente specialistiche con contenuti anche assai avanzati, come "Sistemi elettrici per l'energia", "Azionamenti elettrici", "Modellistica ed Ingegneria dei materiali elettrici", e il nuovo Insegnamento integrato di "Conversione statica dell'energia e Strumentazione elettronica di misura".

Per completare il curriculum vi sono ancora quattro Insegnamenti, da scegliere fra un numero circa triplo di discipline divise in quattro Orientamenti, cioè Sistemi per l'energia, Macchine e azionamenti, Automazione industriale e Nuovi materiali e tecnologie per l'energia. Discipline caratteristiche di questi Orientamenti sono "Impianti di produzione dell'energia elettrica" e "Tecnica delle alte tensioni" per il primo, "Misure e collaudo dei macchine e impianti elettrici" e "Modellistica dei Sistemi elettromeccanici" per il secondo, "Automazione industriale" ed "Elettronica industriale" per il terzo, "Componenti e tecnologie elettriche" e "Magnetofluidodinamica applicata" per il quarto; mentre gli Insegnamenti di "Compatibilità elettromagnetica per l'ingegneria industriale", "Scienza e tecnologia dei materiali elettrici" e soprattutto il l'Insegnamento di "Affidabilità dei Sistemi elettrici" si configurano come polivalenti, interessanti per tutti gli Orientamenti.

Fra gli Insegnamenti a scelta è previsto, a partire dall'A.A. 1999-2000, anche quello di Tirocinio, da svolgersi presso aziende e strutture esterne all'Università.

Lo studente può anche scegliere un orientamento di tipo Gestionale o uno del settore dei Trasporti, formulando la richiesta su apposito modulo, previo accordo con la Commissione del Corso di Laurea preposta all'esame dei Piani di studio individuali.

### Per gli immatricolati dall'anno accademico 1999/2000

#### ANNO I (disattivato)

- 2165000000153001 ANALISI MATEMATICA A
- 2165000000153021 (sem.) GEOMETRIA E ALGEBRA A
- 216500000016726 FISICA GENERALE A
- 2165000000153051 FONDAMENTI DI INFORMATICA A
- 2165000000153011 (sem.) CHIMICA A
- 216500000015307 (sem.) MECCANICA RAZIONALE
- 2165000000136221 (sem.) ECONOMIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA A
- 2165000000020581 PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

#### ANNO II (disattivato)

- 2165000000153062 Elettrotecnica A
- 2165000000163162 (sem.) AFFIDABILITÀ E DIAGNOSTICA DEI SISTEMI ELETTRICI A
- 2165000000163172 (sem.) FISICA TECNICA A
- 2165000000163182 (sem.) ELETTRONICA A
- 2165000000163192 (sem.) MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE A
- 2165000000163112 (sem.) CONTROLLI AUTOMATICI A
- 2165000000163202 (sem.) CIRCUITI ELETTRONICI DI POTENZA
- 2165000000163212 (sem.) MACCHINE A
- 2165000000136222 (sem.) ECONOMIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA A

#### ANNO III

- 2165000000005043 IMPIANTI ELETTRICI
- 2165000000579503 (sem.) MACCHINE ELETTRICHE L
- 2165000000180043 (sem.) COMPONENTI E TECNOLOGIE ELETTRICHE L
- 2165000000173873 (sem.) AZIONAMENTI ELETTRICI L
- 2165000000007323 MISURE ELETTRICHE
- + 3 corsi a scelta semestrali tra:
- 2165000000192593 (sem.) COMPONENTI E TECNOLOGIE ELETTRICHE A
- 2165000000192603 (sem.) COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA INDUSTRIALE A
- 2165000000187173 (sem.) SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI ELETTRICI A
- 2165000000192613 (sem.) METODOLOGIE DI PROGETTAZIONE DI MACCHINE ELETTRICHE A
- 2165000000192623 (sem.) IMPIANTI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA B
- 2165000000192633 (sem.) MISURE E COLLAUDO DI MACCHINE E IMPIANTI ELETTRICI B
- 2165000000527153 (sem.) MODELLISTICA DEI SISTEMI ELETTROMECCANICI B

**ANNO IV**

- 2165000000153144 ANALISI MATEMATICA B  
 2165000000238814 FISICA B  
 2165000000079484 (sem.) PRINCIPI DI INGEGNERIA ELETTRICA  
 2165000000238824 (sem.) ECONOMIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA B  
 2165000000238834 (sem.) GEOMETRIA ED ALGEBRA B  
 2165000000238844 (sem.) MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE B  
 2165000000238854 (sem.) MACCHINE B  
 2165000000238864 (sem.) MECCANICA RAZIONALE B  
 2165000000197764 (sem.) CHIMICA B  
 2165000000238874 (sem.) ELETTRONICA B

Gli insegnamenti relativi agli anni di corso successivi verranno resi noti successivamente.

**Per gli immatricolati fino all'anno accademico 1998/99****ANNO I (disattivato)**

- 2145000000000151 ANALISI MATEMATICA I  
 2145000000097301 FONDAMENTI DI INFORMATICA  
 2145000000004151 FISICA GENERALE I  
 2145000000097571 GEOMETRIA E ALGEBRA  
 2145000000020581 PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

**ANNO II (disattivato)**

- 2145000000013542 ANALISI MATEMATICA II  
 2145000000004172 FISICA GENERALE II  
 2145000000000882 CHIMICA  
 2145000000004302 FISICA TECNICA  
 2145000000013792 MECCANICA RAZIONALE

**ANNO III (disattivato)**

- 2145000000061833 ECONOMIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA  
 2145000000117143 PRINCIPI DI ING.ELETTRICA I  
 2145000000008903 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI  
 2145000000002693 ELETTRONICA  
 2145000000006873 MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE  
 2145000000117153 PRINCIPI DI INGEGNERIA ELETTRICA II

**ANNO IV (disattivato)**

- 2145000000005044 IMPIANTI ELETTRICI  
 2145000000006664 MACCHINE ELETTRICHE  
 2145000000007324 MISURE ELETTRICHE  
 2145000000001964 CONTROLLI AUTOMATICI  
 2145000000506554 CONVERSIONE STATICA DELL'ENERGIA (SEMESTRALE) + STRUMENTAZIONE ELETTRONICA DI MISURA (SEMESTRALE) (CORSO INTEGRATO)  
 2145000000006634 MACCHINE



## ANNO V

2145000000527185	MODELLISTICA ED INGEGNERIA DEI MATERIALI ELETTRICI	1 ciclo
2145000000111485	SISTEMI ELETTRICI PER L'ENERGIA	1 ciclo
2145000000103825	AZIONAMENTI ELETTRICI	2 ciclo

4 insegnamenti a scelta tra:

Lo studente dovrà scegliere tra i corsi sottoelencati. Possono essere anche scelti altri Corsi della Facoltà, in particolare corsi dei settori Gestionale e Trasporti. In tal caso lo studente deve compilare la domanda di variazione del piano di studi, che è sottoposta all'approvazione del Corso di Laurea.

2145000000134785	AFFIDABILITÀ E DIAGNOSTICA DEI SISTEMI ELETTRICI	2 ciclo
2145000000079495	SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI ELETTRICI	2 ciclo
2145000000134795	COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA INDUSTRIALE	2 ciclo
2145000000111355	IMPIANTI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA	2 ciclo
2145000000041535	TECNICA DELLE ALTE TENSIONI	2 ciclo
2145000000020375	ELETTRONICA INDUSTRIALE	1 ciclo
2145000000526465	METODOLOGIE DI PROGETTAZIONE DI MACCHINE ELETTRICHE	2 ciclo
2145000000104115	AUTOMAZIONE INDUSTRIALE	1 ciclo
2145000000526985	MISURE E COLLAUDO DI MACCHINE E IMPIANTI ELETTRICI	2 ciclo
2145000000527155	MODELLISTICA DEI SISTEMI ELETTROMECCANICI	2 ciclo
2145000000104135	SENSORI E TRASDUTTORI	1 ciclo
2145000000100085	MAGNETOFLUIDODINAMICA APPLICATA	1 ciclo
2145000000134805	COMPONENTI E TECNOLOGIE ELETTRICHE	2 ciclo

NOTA BENE: UN INSEGNAMENTO A SCELTA PUÒ ESSERE SOSTITUITO  
CON ATTIVITÀ DI TIROCINIO PRATICO

## CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA (2146) (2166)

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Massimo Rudan**

Come si desume dalla precedente introduzione al Settore, le attuali tecniche di elaborazione dell'informazione sono in massima parte fondate sull'impiego di dispositivi elettronici e di circuiti integrati a semiconduttore. Nel corso della più recente evoluzione dell'elettronica si è potuto assistere da un lato a rapidi progressi tecnologici che hanno condotto alla possibilità di costruire in forma integrata monolitica interi sistemi di elaborazione, dall'altro alla diffusione di tali tecniche ad aree applicative sempre più numerose ed estese.

Contemporaneamente, e come necessaria conseguenza, le conoscenze relative ai principi di funzionamento dei dispositivi a semiconduttore, alle loro tecnologie costruttive, e alle tecniche di

progettazione dei circuiti integrati, originariamente limitate agli ambienti scientifici e industriali specializzati nello studio e nella realizzazione di dispositivi e circuiti, si sono diffuse anche presso gli ambienti di utilizzazione cioè presso i progettisti e costruttori di sistemi elettronici. Si è verificata cioè, e permane tuttora, una forte tendenza a spostare l'attività di progettazione dal costruttore all'utilizzatore.

Ne consegue che oggigiorno si richiede al laureato in Ingegneria elettronica uno spettro di competenze assai vasto, dal momento che, qualunque sia l'ambiente di lavoro in cui viene ad inserirsi, potrà facilmente essergli chiesto di specializzarsi in una delle numerose aree applicative mantenendo però la capacità di capire e utilizzare tempestivamente le innovazioni emergenti nell'ambito dei dispositivi e dei circuiti elettronici, nonché la capacità di interagire con altri specialisti senza trovarsi in condizioni di inferiorità.

Al Corso di laurea in Ingegneria Elettronica spetta dunque il fondamentale e difficile compito di dare ai futuri professionisti le conoscenze di base necessarie, le aperture intellettuali e un orientamento specializzato che sappia conciliare le esigenze di astrazione, necessarie per dominare discipline applicative aventi solide radici scientifiche, con le esigenze di concretezza tipiche della mentalità ingegneristica. A tal fine potrà essere utilmente indirizzata la maggior flessibilità del nuovo ordinamento statutario che può consentire più tempestivi aggiornamenti dell'ordine degli studi per seguire da vicino la rapida evoluzione delle discipline elettroniche.

### **Indirizzo Biomedica**

L'Indirizzo Biomedica si propone di dare le basi metodologiche e le competenze tecniche generali per l'inserimento professionale dell'ingegnere elettronico nell'industria biomedica e nelle strutture ospedaliere. In particolare l'obiettivo è quello di formare una figura di ingegnere in grado di operare:

- nell'ambito industriale, in attività di sviluppo, produzione e controllo della qualità di dispositivi, apparecchiature, protesi e sistemi di elaborazione utilizzati in medicina e biologia per scopi di prevenzione, diagnosi, terapia, riabilitazione e ricerca, nonché in attività di supporto tecnologico alle connesse iniziative commerciali;

- nell'ambito delle strutture ospedaliere pubbliche e private, in attività di gestione tecnica (scelta, collaudo e manutenzione) volta a garantire un impiego sicuro, corretto ed economico di sistemi ed apparecchiature biomediche.

Gli insegnamenti dell'Indirizzo hanno carattere prettamente ingegneristico e sono ampiamente collegati con i contenuti degli insegnamenti fondamentali dell'ingegneria elettronica. Tuttavia l'indirizzo ha un carattere fortemente interdisciplinare, sia nei riguardi delle componenti meccanica e chimica della stessa ingegneria, sia per i suoi rapporti con il mondo biologico e medico.

### **Indirizzo Microelettronica**

Con questo indirizzo viene data una solida introduzione alla conoscenza dei principi fisici, dei metodi di progetto e delle tecnologie di fabbricazione dei dispositivi e dei circuiti integrati a semiconduttore con cui si realizzano tutti i sistemi elettronici.

La conoscenza della microelettronica è oggi indispensabile ad una vasta cerchia di professionisti operanti non solo nell'area specifica della costruzione dei circuiti integrati ma anche in quella più ampia dei sistemi, sia per l'importanza sempre maggiore che vi assumono i microcircuiti, sovente di tipo "custom" (cioè progettati dallo stesso costruttore di sistemi o almeno in collaborazione con esso e per suo esclusivo uso), sia in relazione ai fondamentali problemi dell'affidabilità.

**Per gli immatricolati dall'anno accademico 1999/2000**

**ANNO I (disattivato)**

- 2166000000153001 ANALISI MATEMATICA A  
 2166000000153021 (sem.) GEOMETRIA E ALGEBRA A  
 2166000000153061 (sem.) ELETTROTECNICA A  
 2166000000153031 FISICA GENERALE M.E.  
 2166000000153051 FONDAMENTI DI INFORMATICA A  
 2166000000153011 (sem.) CHIMICA A  
 2166000000153041 (sem.) RETI LOGICHE A  
 2166000000020581 PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

**ANNO II (disattivato)**

- 2166000000179182 (sem.) CONTROLLI AUTOMATICI L-A  
 2166000000179722 (sem.) ANALISI MATEMATICA L-C  
 2166000000179202 (sem.) MATEMATICA APPLICATA L-A  
 2166000000179222 (sem.) ELETTRONICA L-A  
 2166000000179352 (sem.) FISICA GENERALE L-C  
 2166000000179242 (sem.) COMUNICAZIONI ELETTRICHE L-A  
 2166000000179212 (sem.) CALCOLATORI ELETTRONICI L-A  
 2166000000179232 (sem.) ELETTRONICA L-B  
 2166000000179702 (sem.) COMUNICAZIONI ELETTRICHE L-B  
 2166000000179382 (sem.) PROPAGAZIONE L-A

**PIANO DI STUDIO CON SCELTA DI ORIENTAMENTO**

**III ANNO**

- 2166000151079413 CAMPI ELETTROMAGNETICI  
 2166000151179193 (sem.) CONTROLLI AUTOMATICI L-B  
 2166000151180193 (sem.) GEOMETRIA E ALGEBRA L-B+CALCOLO NUMERICO L-A (CORSO INTEGRATO)  
 (sem.) CHIMICA L-B  
 2166000151179233 (sem.) SISTEMI OPERATIVI L-A  
 2166000151187303 (sem.) ELETTROTECNICA L-B  
 2166000151013793 MECCANICA RAZIONALE  
 2166000151004303 FISICA TECNICA  
 + 1 esame a scelta tra  
 2166000151179733 (sem.) ANALISI MATEMATICA L-D  
 Per coloro che hanno in carriera "Fisica generale Q" e "Matematica Applicata"  
 2166000151179843 (sem.) FISICA GENERALE L-D  
 Per coloro che hanno in carriera "Analisi Matematica B"- 1°e 2° modulo

**IV ANNO**

- MISURE ELETTRONICHE  
 CALCOLATORI ELETTRONICI I  
 ELETTRONICA APPLICATA II  
 SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE

**CALCOLATORI ELETTRONICI II  
MICROELETTRONICA**

**INDIRIZZO BIOMEDICA  
III ANNO**

- 2166033000079403 **BIOINGEGNERIA I**  
2166033000179193 (sem.) **CONTROLLI AUTOMATICI L-B**  
2166033000180193 (sem.) **GEOMETRIA E ALGEBRA L-B+CALCOLO NUMERICO L-A (CORSO INTEGRATO)**  
(sem.) **CHIMICA L-B**  
2166033000179263 (sem.) **SISTEMI OPERATIVI L-A**  
2166033000187303 (sem.) **ELETTROTECNICA L-B**  
2166033000013793 **MECCANICA RAZIONALE**  
2166033000004303 **FISICA TECNICA**  
+ 1 esame a scelta tra  
2166033000179733 (sem.) **ANALISI MATEMATICA L-D**  
Per coloro che hanno in carriera "Fisica generale Q" e "Matematica Applicata"  
2166033000179843 (sem.) **FISICA GENERALE L-D**  
Per coloro che hanno in carriera "Analisi Matematica B"- 1°e 2° modulo

**IV ANNO**

**MISURE ELETTRONICHE  
CALCOLATORI ELETTRONICI I  
ELETTRONICA APPLICATA II  
CAMPI ELETTROMAGNETICI  
STRUMENTAZIONE BIOMEDICA  
BIOINGEGNERIA II**

**INDIRIZZO MICROELETTRONICA  
III ANNO**

- 2166130000079413 **CAMPI ELETTROMAGNETICI**  
2166130000179193 (sem.) **CONTROLLI AUTOMATICI L-B**  
2166130000180193 (sem.) **GEOMETRIA E ALGEBRA L-B+CALCOLO NUMERICO L-A (CORSO INTEGRATO)**  
(sem.) **CHIMICA L-B**  
2166130000179263 (sem.) **SISTEMI OPERATIVI L-A**  
2166130000187303 (sem.) **ELETTROTECNICA L-B**  
2166130000013793 **MECCANICA RAZIONALE**  
2166130000004303 **FISICA TECNICA**  
+ 1 esame a scelta tra  
2166130000179733 (sem.) **ANALISI MATEMATICA L-D**  
Per coloro che hanno in carriera "Fisica generale Q" e "Matematica Applicata"  
2166130000179843 (sem.) **FISICA GENERALE L-D**  
Per coloro che hanno in carriera "Analisi Matematica B"- 1°e 2° modulo

**IV ANNO**

MISURE ELETTRONICHE  
 CALCOLATORI ELETTRONICI I  
 ELETTRONICA APPLICATA II  
 ELETTRONICA DELLO STATO SOLIDO  
 MICROELETTRONICA  
 CAMPI ELETTROMAGNETICI (solo per chi non ha ancora ottenuto  
 la frequenza)

+ 1 esame a scelta tra:

CALCOLATORI ELETTRONICI II  
 CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI (attivo solo per il corrente  
 anno accademico)

Gli insegnamenti relativi agli anni di corso successivi verranno resi noti successivamente

**Per gli immatricolati fino all'anno accademico 1998/99****ANNO I (disattivato)**

214600000000151 ANALISI MATEMATICA I  
 2146000000079451 FONDAMENTI DI INFORMATICA I  
 2146000000000881 CHIMICA  
 2146000000097571 GEOMETRIA E ALGEBRA  
 2146000000004151 FISICA GENERALE I  
 2146000000020581 PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

**ANNO II (disattivato)**

2146000000013542 ANALISI MATEMATICA II  
 2146000000004172 FISICA GENERALE II  
 2146000000079462 FONDAMENTI DI INFORMATICA II  
 2146000000067932 ELETTROTECNICA  
 2146000000004302 FISICA TECNICA  
 2146000000013792 MECCANICA RAZIONALE

**PIANO DI STUDI CON SCELTA DI ORIENTAMENTO****ANNO III (disattivato)**

2146000151063723 ANALISI MATEMATICA III  
 2146000151001963 CONTROLLI AUTOMATICI  
 2146000151055793 RETI LOGICHE  
 2146000151079413 CAMPI ELETTROMAGNETICI  
 2146000151001923 COMUNICAZIONI ELETTRICHE  
 2146000151024383 ELETTRONICA APPLICATA I

**ANNO IV (disattivato)**

2146000151103834 CALCOLATORI ELETTRONICI I  
 2146000151024394 ELETTRONICA APPLICATA II  
 2146000151103934 SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE  
 2146000151103844 CALCOLATORI ELETTRONICI II  
 2146000151057024 MICROELETTRONICA  
 2146000151021264 MISURE ELETTRONICHE

## ANNO V

2146000151002515 ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE 1 ciclo  
4 insegnamenti tra quelli indicati per ciascun orientamento

## A) Orientamento Bioingegneria

2146000151502835 AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE SANITARIA 2 ciclo  
2146000151079405 BIOINGEGNERIA I 1 ciclo  
2146000151111345 ELABORAZIONE DI DATI E SEGNALI BIOMEDICI 2 ciclo  
2146000151041525 STRUMENTAZIONE BIOMEDICA 1 ciclo  
1 insegnamento a scelta (1)

## B) Orientamento Calcolatori Elettronici

2146000151109075 ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI 1 ciclo  
2146000151071585 INTELLIGENZA ARTIFICIALE 2 ciclo  
2146000151103945 SISTEMI INFORMATIVI I 2 ciclo  
1 insegnamento a scelta tra:  
2146000151104085 LINGUAGGI E TRADUTTORI 1 ciclo  
2146000151111455 RETI DI CALCOLATORI 1 ciclo  
1 insegnamento a scelta (1)

## C) Orientamento Comunicazioni Elettriche

2146000151109075 ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI 1 ciclo  
2146000151103895 PROPAGAZIONE 2 ciclo  
2146000151103905 RETI DI TELECOMUNICAZIONI 2 ciclo  
1 insegnamento a scelta tra:  
2146000151104065 ELABORAZIONE OTTICA DEI SEGNALI 1 ciclo  
2146000151125645 ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI 1 ciclo  
1 insegnamento a scelta (1)

## D) Orientamento Controlli Automatici

2146000151020375 ELETTRONICA INDUSTRIALE 1 ciclo  
2146000151129695 INGEGNERIA E TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO 1 ciclo  
2146000151041265 CONTROLLO DEI PROCESSI 2 ciclo  
2146000151111465 ROBOTICA INDUSTRIALE 2 ciclo  
1 insegnamento a scelta (1)

## E) Orientamento Gestionale

2146000151020375 ELETTRONICA INDUSTRIALE 1 ciclo  
2146000151088845 RICERCA OPERATIVA 1 ciclo  
2146000151134775 OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA 2 ciclo  
2146000151103945 SISTEMI INFORMATIVI I 2 ciclo  
1 insegnamento a scelta (1)

## F) Orientamento Progettazione Elettronica

2146000151109075 ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI 1 ciclo  
2146000151104075 STRUMENTAZIONE E MISURE ELETTRONICHE 2 ciclo

	1 annualità a scelta tra:	
2146000151111325	ARCHITETTURA DEI SISTEMI INTEGRATI	
	Oppure	
2146000151193365	(sem.) ELETTRONICA APPLICATA IV	
2146000151193375	(sem) ARCHITETTURA DEI SISTEMI INTEGRATI LS-B	
	1 insegnamento a scelta tra:	
2146000151125645	ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI	1 ciclo
2146000151020375	ELETTRONICA INDUSTRIALE	1 ciclo
	1 insegnamento a scelta (1)	
	G) Orientamento Strumentazione elettronica	
2146000151109075	ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI	1 ciclo
2146000151104135	SENSORI E TRASDUTTORI	1 ciclo
2146000151500065	AFFIDABILITÀ E DIAGNOSTICA DI COMPONENTI E CIRCUITI ELETTRONICI	2 ciclo
2146000151104075	STRUMENTAZIONE E MISURE ELETTRONICHE	2 ciclo
	1 insegnamento a scelta (1)	

**INDIRIZZO BIOMEDICA****ANNO III (disattivato)**

2146033000063723	ANALISI MATEMATICA III	
2146033000001963	CONTROLLI AUTOMATICI	
2146033000055793	RETI LOGICHE	
2146033000079403	BIOINGEGNERIA I	
2146033000001923	COMUNICAZIONI ELETTRICHE	
2146033000024383	ELETTRONICA APPLICATA I	

**ANNO IV (disattivato)**

2146033000104124	BIOINGEGNERIA II	
2146033000103834	CALCOLATORI ELETTRONICI I	
2146033000024394	ELETTRONICA APPLICATA II	
2146033000079414	CAMPI ELETTROMAGNETICI	
2146033000021264	MISURE ELETTRONICHE	
2146033000041524	STRUMENTAZIONE BIOMEDICA	

**ANNO V**

2146033000002515	ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE	1 ciclo
2146033000103905	RETI DI TELECOMUNICAZIONI	2 ciclo
	3 insegnamenti di cui almeno 2 tra:	
2146033000502835	AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE SANITARIA	2 ciclo
2146033000111335	BIOINGEGNERIA III	1 ciclo
2146033000111345	ELABORAZIONE DI DATI E SEGNALI BIOMEDICI	2 ciclo
	ed il rimanente a scelta tra:	
2146033000041175	ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI	2 ciclo
2146033000058025	PROPRIETÀ TERMODINAMICHE E DI TRASPORTO	2 ciclo
	1 insegnamento a scelta (1)	

**INDIRIZZO MICROELETTRONICA****ANNO III (disattivato)**

- 2146130000063723 ANALISI MATEMATICA III  
 2146130000001963 CONTROLLI AUTOMATICI  
 2146130000055793 RETI LOGICHE  
 2146130000079413 CAMPI ELETTRICITÀ  
 2146130000001923 COMUNICAZIONI ELETTRICHE  
 2146130000024383 ELETTRONICA APPLICATA I

**ANNO IV (disattivato)**

- 2146130000103834 CALCOLATORI ELETTRONICI I  
 2146130000024394 ELETTRONICA APPLICATA II  
 2146130000088624 ELETTRONICA DELLO STATO SOLIDO  
 2146130000057024 MICROELETTRONICA  
 2146130000021264 MISURE ELETTRONICHE  
 1 insegnamento a scelta tra (2):  
 2146130000079424 CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI  
 2146130000103844 CALCOLATORI ELETTRONICI II

**ANNO V**

- |                  |  |         |
|------------------|--|---------|
| 2146130000002515 | ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE                                | 1 ciclo |
| 2146130000109075 | ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI                                   | 1 ciclo |
| 2146130000103905 | RETI DI TELECOMUNICAZIONI  | 2 ciclo |
|                  | 1 insegnamento tra:  |         |
| 2146130000020375 | ELETTRONICA INDUSTRIALE  | 1 ciclo |
| 2146130000500065 | AFFIDABILITÀ E DIAGNOSTICA DI COMPONENTI<br>E CIRCUITI ELETTRONICI | 2 ciclo |
| 2146130000111325 | ARCHITETTURA DEI SISTEMI INTEGRATI                                 | 2 ciclo |
| 2146130000104075 | STRUMENTAZIONE E MISURE ELETTRONICHE                               | 2 ciclo |
|                  | 1 insegnamento a scelta (1)  |         |

(1) Può essere scelto tra tutti gli insegnamenti previsti nei Corsi di studio del Settore dell'Ingegneria dell'Informazione (che comprende i corsi di laurea di Ingegneria delle Telecomunicazioni, Elettronica, Informatica), In alternativa può essere scelto l'insegnamento di "214700000000890 Impianti Industriali" attivato presso il Corso di Laurea di Ingegneria Gestionale.

**NOTA BENE: UN INSEGNAMENTO A SCELTA DEL 5° ANNO PUÒ ESSERE SOSTITUITO CON ATTIVITÀ DI TIROCINIO PRATICO**



## CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE (2147)

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Andrea Zanoni**

La figura professionale dell'ingegnere Gestionale associa alla formazione ed alla cultura tecnologica interdisciplinare di base, caratteristica dell'ingegnere, competenze economiche ed organizzative.

Il bisogno di questa nuova figura professionale emerge dalla rilevazione di una domanda espressa dal mercato del lavoro che, in modo sempre più pressante, manifesta l'esigenza di competenze mirate a ruoli che applichino e gestiscano la tecnologia in organizzazioni sia industriali che di servizi.

Le funzioni gestionali che un ingegnere è chiamato a svolgere riguardano prevalentemente l'innovazione tecnologica, il sistema produttivo e quello logistico-commerciale nelle loro componenti fisiche, informative e organizzative; in organizzazioni di piccola e media dimensione, tipiche del nostro contesto industriale, e in una prospettiva di evoluzione dei percorsi di carriera nell'ambito delle imprese di maggiori dimensioni, esse si estendono ai problemi dell'impresa nel suo complesso.

L'obiettivo formativo è quindi quello di preparare una figura professionale in grado di gestire sistemi complessi tenendo conto degli aspetti tecnici, organizzativi, economici, finanziari e di mercato. L'ingegnere gestionale deve pertanto essere in grado di interagire con gli specialisti che operano nelle diverse funzioni aziendali con una preparazione che gli consenta un approccio globale e multidisciplinare. In tal senso si cerca di ottenere una figura professionale che sia in grado di affrontare, nelle fasi di valutazione, di pianificazione e di realizzazione, processi di cambiamento e gestione in cui ha rilevanza fondamentale la componente tecnologica.

Il nuovo Corso di laurea risulta particolarmente coerente con l'evoluzione dello scenario economico e tecnologico che si manifesta a diversi livelli:

- a livello dei cicli produttivi connotati da radicali interventi, sia organizzativi che di processo, tendenti a migliorare le prestazioni sul fronte dei costi, della qualità, dei tempi e della flessibilità;
- a livello dell'impresa, oggi alla ricerca di rinnovate basi di competitività imposte dai processi di internazionalizzazione e dalla comparsa di concorrenti più aggressivi;
- a livello di settori industriali, ove si assiste a rapidi cambiamenti dei confini intersettoriali, delle barriere all'entrata e all'uscita, delle relazioni interimpresa e delle modalità competitive;
- a livello di ambiente, in cui appaiono in modo sempre più incisivo esigenze di contenimento dei costi sociali e di rispetto dell'equilibrio ecologico e dei vincoli di localizzazione, senza dimenticare le problematiche etiche e sociali sollevate da uno sviluppo industriale non correttamente indirizzato.

Nel formulare la proposta di curriculum, desumibile dalle schede allegate, nell'ambito dei vincoli previsti dalla normativa esistente, la Facoltà è stata particolarmente attenta ad individuare sbocchi professionali in funzione dei quali innestare alcuni insegnamenti specifici ai diversi orientamenti, su una base di contenuti comuni a tutto il Corso di laurea.

Relativamente agli Orientamenti la Facoltà ritiene che il Corso di laurea in ingegneria Gestionale possa essere finalizzato alla preparazione dell'ingegnere che dovrà gestire:

- il sistema industriale, con un profilo professionale focalizzato sul fenomeno produttivo interno all'impresa nei suoi aspetti impiantistici, organizzativi e di assicurazione della qualità.
- il sistema dei servizi, con un profilo professionale in grado di operare in organizzazioni che realizzano servizi per l'impresa con particolare attenzione alle problematiche dell'impatto ambientale e della gestione del territorio e dei trasporti.
- il sistema delle informazioni, con un profilo professionale focalizzato sui cambiamenti or-

ganizzativi connessi all'adozione di nuovi sistemi di automazione e di gestione delle informazioni in ambito sia produttivo sia decisionale.

Con questa proposta la Facoltà di ingegneria di Bologna intende ampliare la propria offerta formativa rispondendo in modo positivo alle esigenze espresse dall'ambiente in cui opera con un'attenzione particolare alle necessità degli operatori economico-industriali che, in seguito all'aumentato tasso di sviluppo delle tecnologie e ai processi di unificazione dei mercati in atto, hanno sempre maggiori esigenze di risorse umane capaci di interpretare il cambiamento gestendo in modo corretto il processo innovativo.

Informazioni più aggiornate sono disponibili nel sito WEB della Facoltà.

#### ANNO I (disattivato)

214700000000151	ANALISI MATEMATICA I
2147000000097301	FONDAMENTI DI INFORMATICA
2147000000000881	CHIMICA
2147000000004151	FISICA GENERALE I
2147000000097571	GEOMETRIA E ALGEBRA
2147000000020581	PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

#### ANNO II (disattivato)

2147000000013542	ANALISI MATEMATICA II
2147000000004172	FISICA GENERALE II
2147000000002562	ECONOMIA POLITICA
2147000000067932	ELETTROTECNICA
2147000000013792	MECCANICA RAZIONALE

#### ANNO III

2147000000001963	CONTROLLI AUTOMATICI	1 ciclo
2147000000004303	(sem.) FISICA TECNICA	1 ciclo
21470000000008903	(sem.) SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	1 ciclo
21470000000533963	SISTEMI DI CONTROLLO DI GESTIONE + SISTEMI ORGANIZZATIVI (CORSO INTEGRATO)	1 ciclo
21470000000104203	IMPIANTI INDUSTRIALI	2 ciclo
2147000000006873	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	2 ciclo
21470000000163233	RICERCA OPERATIVA A+RICERCA OPERATIVA B (CORSO INTEGRATO)	2 ciclo

#### ANNO IV

2147000000013844	(sem.) COSTRUZIONE DI MACCHINE	1 ciclo
21470000000134684	GESTIONE DELL'INNOVAZIONE E DEI PROGETTI	1 ciclo
2147000000006634	(sem.) MACCHINE	1 ciclo
2147000000096794	SISTEMI INFORMATIVI	1 ciclo
2147000000001924	COMUNICAZIONI ELETTRICHE oppure:	2 ciclo
2147000000002694	ELETTRONICA (1)	2 ciclo
21470000000111654	GESTIONE DELL'ENERGIA	2 ciclo
21470000000111734	STUDI DI FABBRICAZIONE	2 ciclo

## ANNO V

214700000016775	GESTIONE AZIENDALE	1 ciclo
2147000000102695	LOGISTICA INDUSTRIALE	2 ciclo
2147000000103915	SICUREZZA E ANALISI DI RISCHIO	1 ciclo
	Oppure	
2147000000099415	ANALISI DI SICUREZZA NELL'INDUSTRIA DI PROCESSO	1 ciclo
	3 annualità a scelta	

## MATERIE A SCELTA:

collocate nel ciclo in cui sono attivate nel CdS di origine

## Orientamento Industriale-Produttivo

214700000005045	IMPIANTI ELETTRICI	1 ciclo
2147000000134835	INGEGNERIA DELLE MATERIE PRIME	1 ciclo
2147000000102715	(sem.) MARKETING INDUSTRIALE	1 ciclo
2147000000021215	TECNOLOGIE GENERALI DEI MATERIALI	1 ciclo
2147000000120875	AFFIDABILITÀ E CONTROLLO DI QUALITÀ	2 ciclo
2147000000104115	AUTOMAZIONE INDUSTRIALE	2 ciclo
2147000000041265	CONTROLLO DEI PROCESSI	2 ciclo
2147000000111685	INTERAZIONE FRA LE MACCHINE E L'AMBIENTE	2 ciclo
2147000000528035	ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE E DEI SISTEMI LOGISTICI	2 ciclo
2147000000022355	SCIENZA DEI MATERIALI	2 ciclo
2147000000104215	SERVIZI GENERALI DI IMPIANTO	2 ciclo
2147000000134825	STRUMENTAZIONE E AUTOMAZIONE INDUSTRIALE	2 ciclo

## Orientamento Servizi

2147000000092355	TECNICA URBANISTICA II	
2147000000138485	METODI E MODELLI PER IL SUPPORTO ALLE DECISIONI	2 ciclo
2147000000010315	TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI	1 ciclo
2147000000002695	ELETTRONICA (1) (5)	2 ciclo
2147000000024295	(sem.) ESTIMO	2 ciclo
2147000000119605	NOZIONI GIURIDICHE FONDAMENTALI (3)	2 ciclo
2147000000527605	(sem.) NOZIONI GIURIDICHE FONDAMENTALI (4)	2 ciclo
2147000000046795	PIANIFICAZIONE DEI TRASPORTI	2 ciclo
2147000000104025	PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE	2 ciclo
2147000000103905	RETI DI TELECOMUNICAZIONI	2 ciclo
2147000000111495	SISTEMI INFORMATIVI II	2 ciclo
2147000000074335	TECNICA DEL CONTROLLO AMBIENTALE	1 ciclo
2147000000045215	FINANZA AZIENDALE (2)	
2147000000035685	POLITICA ECONOMICA (2)	

(1) Corso costituito dall'insieme dei due insegnamenti semestrali di Elettronica applicata I ed Elettronica applicata II impartiti nel C.d.S. in Ingegneria nucleare

(4) Disciplina già attiva che farà parte dell'orientamento Gestione industriale dell'energia quando sarà attivato.

(5) Mututato dalla Facoltà di Economia e Commercio

(6) mututato dal corso annuale di Legislazione delle opere pubbliche e dell'edilizia

(7) Solo per chi ha ottenuto negli anni precedenti l'attestazione di frequenza di Istituzioni di diritto pubblico e privato sem. Mutato dal corso di Legislazione dell'opere pubbliche e dell'edilizia

(8) non può essere scelto da chi lo ha già acquisito negli anni precedenti

NOTA BENE: Il corso di Laurea è giunto a completamento, non sono più vigore le delibere assunte per la gestione del transitorio. Gli studenti dovranno rispettare le normative generali vigenti per la Facoltà di Ingegneria

## CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA INFORMATICA (2148) (2168)

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Eugenio Faldella**

Negli ultimi decenni gli sviluppi dell'informatica e dell'automazione industriale hanno inciso profondamente sull'organizzazione delle moderne imprese e di molte attività sociali, diventando il loro fattore determinante di trasformazione e innovazione.

Si pensi, ad esempio, al progetto di complesse architetture e sistemi informativi in grado di realizzare sistemi integrati di supervisione e controllo, o di sistemi automatizzati nel campo dei processi industriali, all'applicazione delle nuove metodologie dell'ingegneria del software e dei sistemi basati sulla conoscenza, allo sviluppo di discipline come la robotica e l'intelligenza artificiale, al diffondersi di nuovi modelli di architetture distribuite, ai problemi posti dalla necessità di collegare e fare cooperare sistemi di calcolo eterogenei, alle nuove e sempre più sofisticate modalità di interazione tra l'uomo e il calcolatore, al diffondersi della multimedialità.

Ed infine, con riferimento a problemi di tipo organizzativo all'interno delle aziende, al diffondersi alle nuove modalità di lavoro in gruppo; alla diffusione di forme di cooperazione mediante l'utilizzo di strumenti informatici e di comunicazione.

In questo scenario si colloca la laurea in ingegneria Informatica. Nata nel 1989 con il compito di recepire tutto il patrimonio culturale e tecnico degli indirizzi di Informatica e Automazione del precedente Corso di laurea in ingegneria Elettronica, si è trovata in questi ultimi anni con il compito di fornire una precisa figura professionale che sappia rispondere a tutte le nuove esigenze del mondo del lavoro citate precedentemente.

Il corso di laurea in ingegneria Informatica intende fornire, dapprima, un quadro formativo generale e comune, per poi dare allo studente la possibilità di orientare maggiormente la propria preparazione, tramite la scelta di un Indirizzo che dovrà essere scelto all'atto dell'iscrizione al quarto anno e caratterizzerà, poi, il titolo acquisito al termine degli studi.

La base comune, articolata in 23 Insegnamenti obbligatori, si occupa in particolare di fornire:

- una solida formazione fisico-matematica
- una buona conoscenza dei fondamenti dell'ingegneria elettrica, elettronica e delle telecomunicazioni
- una capacità di analisi ed interpretazione in termini di modelli logico-matematici dei problemi tecnici, economici e gestionali degli ambienti applicativi, unitamente ad una sicura capacità progettuale dei sistemi automatici ed informatici che li devono risolvere.

I due Indirizzi, denominati rispettivamente "Automatica e sistemi di automazione" e "Sistemi ed applicazioni informatici", interessano sei Insegnamenti.

Nell'ambito di ciascun indirizzo sono previsti sia Insegnamenti obbligatori sia Insegnamenti a scelta dello studente: questi ultimi propongono contenuti coordinati ad alta specializzazione, ma possono anche ospitare discipline di altri Corsi di laurea del settore dell'Informazione per allargare lo spettro della preparazione.

## **Indirizzo Automatica e Sistemi di Automazione**

L'indirizzo approfondisce lo studio della modellistica e del controllo nonché delle tecnologie mediante le quali si realizzano i moderni sistemi di automazione industriale.

Lo scopo è quello di fornire le basi teoriche e pratiche per la progettazione di sistemi automatici di controllo sia di singoli apparati sia di complessi processi industriali. Contesti applicativi di riferimento sono la robotica, l'automazione di fabbrica, il controllo dei sistemi ambientali e di quelli di trasporto.

## **Indirizzo Sistemi ed Applicazioni Informatici**

L'indirizzo approfondisce, sotto il profilo metodologico ed applicativo, il tema della progettazione e della gestione dei sistemi ed impianti informatici.

Argomenti caratterizzanti sono l'architettura delle macchine per l'elaborazione, le metodologie di sviluppo di sistemi software, la progettazione degli archivi di dati.

Contesti applicativi di riferimento sono i sistemi di elaborazione distribuiti, l'interazione operatore-macchina, l'intelligenza artificiale e la fabbrica del software.

## **Orientamento Gestionale**

L'orientamento gestionale si propone di fornire le conoscenze di base per lo studio dei problemi gestionali ed organizzativi. In particolare vengono trattate le metodologie fondamentali che considerano l'aspetto globale di integrazione delle varie componenti dei sistemi organizzativi e ne ottimizzano il comportamento in rapporto agli obiettivi fissati. Gli strumenti e le tecniche proprie dell'economia, dell'elaborazione delle informazioni, della gestione aziendale, dell'ottimizzazione e simulazione dei sistemi complessi, dell'automazione industriale assumono in tale contesto una notevole rilevanza. I corsi dell'orientamento trattano gli aspetti sia metodologici che tecnologici indispensabili per la progettazione e la gestione dei sistemi organizzativi, con particolare attenzione ai problemi economici e di integrazione dei sistemi informativi aziendali.

### **Per gli immatricolati dall'anno accademico 1999/2000**

#### **ANNO I (disattivato)**

- 2168000000153001 ANALISI MATEMATICA A
- 2168000000153021 (sem.) GEOMETRIA E ALGEBRA A
- 2168000000153061 (sem.) ELETTROTECNICA A
- 2168000000153031 FISICA GENERALE M.E.
- 2168000000153051 FONDAMENTI DI INFORMATICA A
- 2168000000153011 (sem.) CHIMICA A
- 2168000000153041 (sem.) RETI LOGICHE A
- 2168000000020581 PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

#### **ANNO II (disattivato)**

- 2168000000179182 (sem.) CONTROLLI AUTOMATICI L-A
- 2168000000179192 (sem.) CONTROLLI AUTOMATICI L-B
- 2168000000179202 (sem.) MATEMATICA APPLICATA L-A
- 2168000000163272 (sem.) FONDAMENTI DI INFORMATICA C

- 2168000000179222 (sem.) ELETTRONICA L-A  
 2168000000179242 (sem.) COMUNICAZIONI ELETTRICHE L-A  
 2168000000179212 (sem.) CALCOLATORI ELETTRONICI L-A  
 2168000000179352 (sem.) FISICA GENERALE L-C  
 2168000000179232 (sem.) ELETTRONICA L-B  
 2168000000179262 (sem.) SISTEMI OPERATIVI L-A

### ANNO III

- 2168000000008843 RICERCA OPERATIVA  
 2168000000179273 (sem.) SISTEMI INFORMATIVI L-A  
 2168000000179283 (sem.) RETI DI TELECOMUNICAZIONI L-A  
 2168000000179723 (sem.) ANALISI MATEMATICA L-C  
 2168000000004303 FISICA TECNICA  
 2168000000024393 ELETTRONICA APPLICATA II  
 2168000000579593 (sem.) MECCANICA RAZIONALE L-A  
 2168000000179303 (sem.) INGEGNERIA DEL SOFTWARE L-A  
 2168000000180193 (sem.) GEOMETRIA E ALGEBRA L-B + CALCOLO NUMERICO L-A

### ANNO IV

#### ORIENTAMENTO GESTIONALE

- 2168000091041264 CONTROLLO DEI PROCESSI  
 2168000091002514 ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE  
 2168000091179734 (sem.) ANALISI MATEMATICA L-D  
 2168000091179844 (sem.) FISICA GENERALE L-D  
 2168000091240004 (sem.) RETI LOGICHE L-B  
 2160000091240014 (sem.) CALCOLATORI ELETTRONICI L-B  
 2168000091111454 RETI DI CALCOLATORI  
 2168000091134774 OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA

#### INDIRIZZO AUTOMATICA E SISTEMI DI AUTOMAZIONE INDUSTRIALE

- 2168020000041264 CONTROLLO DEI PROCESSI  
 2168020000002514 ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE  
 2168020000179734 (sem.) ANALISI MATEMATICA L-D  
 2168020000179844 (sem.) FISICA GENERALE L-D  
 2168020000240004 (sem.) RETI LOGICHE L-B  
 2168020000240014 (sem.) CALCOLATORI ELETTRONICI L-B  
 2168020000129694 INGEGNERIA E TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO  
 2168020000006874 MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE

#### INDIRIZZO SISTEMI ED APPLICAZIONI INFORMATICI

- 2168194000041264 CONTROLLO DEI PROCESSI  
 2168194000002514 ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE  
 2168194000179734 (sem.) ANALISI MATEMATICA L-D  
 2168194000179844 (sem.) FISICA GENERALE L-D  
 2168194000240004 (sem.) RETI LOGICHE L-B  
 2168194000240014 (sem.) CALCOLATORI ELETTRONICI L-B  
 2168194000090324 RETI DI CALCOLATORI  
 2168194000111454 INGEGNERIA DEL SOFTWARE

N.B.: Gli insegnamenti relativi al V anno di corso verranno resi noti successivamente

**Per gli immatricolati fino all'anno accademico 1998/99**

**ANNO I (disattivato)**

- 214800000000151 ANALISI MATEMATICA I  
 2148000000079451 FONDAMENTI DI INFORMATICA I  
 2148000000000881 CHIMICA  
 2148000000097571 GEOMETRIA E ALGEBRA  
 2148000000004151 FISICA GENERALE I  
 2148000000020581 PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

**ANNO II (disattivato)**

- 2148000000013542 ANALISI MATEMATICA II  
 2148000000004172 FISICA GENERALE II  
 2148000000079462 FONDAMENTI DI INFORMATICA II  
 2148000000067932 ELETTROTECNICA  
 2148000000004302 FISICA TECNICA  
 2148000000013792 MECCANICA RAZIONALE

**ANNO III (disattivato)**

- 2148000000063723 ANALISI MATEMATICA III  
 2148000000055793 RETI LOGICHE  
 2148000000041153 TEORIA DEI SISTEMI  
 2148000000001923 COMUNICAZIONI ELETTRICHE  
 2148000000036943 CONTROLLI AUTOMATICI I  
 2148000000024383 ELETTRONICA APPLICATA I

**ANNO IV (disattivato)**

**ORIENTAMENTO GESTIONALE**

- 2148000091103834 CALCOLATORI ELETTRONICI I  
 2148000091024394 ELETTRONICA APPLICATA II  
 2148000091008844 RICERCA OPERATIVA  
 2148000091021264 MISURE ELETTRONICHE  
 2148000091134774 OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA  
 2148000091103944 SISTEMI INFORMATIVI I

**INDIRIZZO AUTOMATICA E SISTEMI DI AUTOMAZIONE INDUSTRIALE**

- 2148020000103834 CALCOLATORI ELETTRONICI I  
 2148020000024394 ELETTRONICA APPLICATA II  
 2148020000008844 RICERCA OPERATIVA  
 2148020000041264 CONTROLLO DEI PROCESSI  
 214802000006874 MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE  
 2148020000021264 MISURE ELETTRONICHE

**INDIRIZZO SISTEMI ED APPLICAZIONI INFORMATICI**

- 2148194000103834 CALCOLATORI ELETTRONICI I  
 2148194000024394 ELETTRONICA APPLICATA II  
 2148194000008844 RICERCA OPERATIVA  
 2148194000103844 CALCOLATORI ELETTRONICI II

2148194000021264 MISURE ELETTRONICHE  
 2148194000103944 SISTEMI INFORMATIVI I

### ANNO V

#### ORIENTAMENTO GESTIONALE

2148000091002515	ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE	1 ciclo
2148000091192135	SISTEMI INFORMATIVI II (1) 3 insegnamenti a scelta di cui almeno 2 tra i seguenti:	2 ciclo
2148000091192165	LINGUAGGI E TRADUTTORI (2)	1 ciclo
2148000091071585	INTELLIGENZA ARTIFICIALE (3)	2 ciclo
2148000091006875	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	2 ciclo
2148000091528035	ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE E DEI SISTEMI LOGISTICI	2 ciclo
	e l'eventuale restante tra i seguenti: (4)	
2148000091129695	INGEGNERIA E TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO	1 ciclo
2148000091016775	GESTIONE AZIENDALE	1 ciclo
2148000000134845	METODI E MODELLI PER IL SUPPORTO ALLE DECISIONI	2 ciclo
2148000091104115	AUTOMAZIONE INDUSTRIALE	2 ciclo
2148000091103845	CALCOLATORI ELETTRONICI II (5)	2 ciclo

#### INDIRIZZO AUTOMATICA E SISTEMI DI AUTOMAZIONE INDUSTRIALE

2148020000002515	ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE	1 ciclo
2148020000129695	INGEGNERIA E TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO	1 ciclo
2148020000036955	CONTROLLI AUTOMATICI II 2 insegnamenti a scelta di cui almeno 1 tra i seguenti:	1 ciclo
2148020000020375	ELETTRONICA INDUSTRIALE	1 ciclo
2148020000104115	AUTOMAZIONE INDUSTRIALE	2 ciclo
2148020000111465	ROBOTICA INDUSTRIALE	2 ciclo
	e l'eventuale restante tra i seguenti: (4)	
2148020000527155	MODELLISTICA DEI SISTEMI ELETTROMECCANICI	1 ciclo
2148020000111455	RETI DI CALCOLATORI	1 ciclo
2148020000104135	SENSORI E TRASDUTTORI	1 ciclo
2148020000103845	CALCOLATORI ELETTRONICI II (5)	2 ciclo
2148020000071585	INTELLIGENZA ARTIFICIALE (3)	2 ciclo
2148020000528035	ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE E DEI SISTEMI LOGISTICI	2 ciclo
2148020000134775	OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA	2 ciclo

#### INDIRIZZO SISTEMI ED APPLICAZIONI INFORMATICI

2148194000002515	ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE 4 insegnamenti a scelta di cui almeno 3 tra i seguenti:	1 ciclo
2148194000192165	LINGUAGGI E TRADUTTORI (2)	1 ciclo



2148194000111455	RETI DI CALCOLATORI	1 ciclo
2148194000006875	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	2 ciclo
2148194000071585	INTELLIGENZA ARTIFICIALE (3)	2 ciclo
2148194000192195	INGEGNERIA DEL SOFTWARE (6)	2 ciclo
2148194000192135	SISTEMI INFORMATIVI II (1) e l'eventuale restante tra i seguenti: (4)	2 ciclo
2148194000109075	ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI	1 ciclo
2148194000016775	GESTIONE AZIENDALE	1 ciclo
2148194000129695	INGEGNERIA E TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO	1 ciclo
2148194000111325	ARCHITETTURA DEI SISTEMI INTEGRATI	2 ciclo
2148194000528035	ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE E DEI SISTEMI LOGISTICI	2 ciclo
2148194000134775	OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA	2 ciclo
2148194000103905	RETI DI TELECOMUNICAZIONI	2 ciclo

(1) Corso integrato: Sistemi informativi II A + Sistemi informativi II B; Sistemi informativi II A mutuato dall'insegnamento di "Tecnologie per la sicurezza LS" attivato nell'ambito del corso di laurea specialistica in Ingegneria Informatica.

(2) Corso integrato: Linguaggi e traduttori A + Linguaggi e traduttori B; Linguaggi e traduttori B mutuato dall'insegnamento di "Linguaggi e modelli computazionali LS" attivato nell'ambito del corso di laurea specialistica in Ingegneria Informatica.

(3) Corso integrato: Intelligenza artificiale A + Intelligenza artificiale B; Intelligenza artificiale A mutuato dall'insegnamento di "Fondamenti di intelligenza artificiale LS" attivato nell'ambito del corso di laurea specialistica in Ingegneria Informatica.

(4) Oppure qualunque altro insegnamento incluso nei piani di studio del settore dell'Ingegneria dell'Informazione (che comprende i corsi di laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni, Elettronica e Informatica).

(5) Corso integrato mutuato dagli insegnamenti di "Sistemi operativi L-A" e "Sistemi operativi LS" attivati nell'ambito dei corsi di studio (laurea e laurea specialistica, rispettivamente) in Ingegneria Informatica, Nuovo Ordinamento.

(6) Corso integrato: Ingegneria del software A + Ingegneria del software B.

N.B.: UN INSEGNAMENTO A SCELTA PUÒ ESSERE SOSTITUITO CON ATTIVITÀ DI STAGE (TIROCINIO PRATICO)

## CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA (2149)

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Umberto Meneghetti**

Il corso di laurea in Ingegneria Meccanica è articolato in 5 Indirizzi e un Orientamento, e prevede 22 insegnamenti obbligatori sul piano di Facoltà, 6 obbligatori dell'Indirizzo o dell'Orientamento prescelto e uno a scelta fra tutti quelli attivati nell'ambito del Corso di laurea.

Gli insegnamenti obbligatori coprono i più importanti settori dell'ingegneria Meccanica e forniscono all'allievo un'ampia preparazione di base; gli insegnamenti di Indirizzo permettono di approfondire la preparazione in alcuni dei numerosi campi nei quali si svolge l'attività professionale dell'ingegnere Meccanico, con lo scopo soprattutto di indicare metodologie e tematiche di alto valore formativo.

## **Indirizzo Automazione Industriale e Robotica**

Acquisire competenze nel settore della Automazione industriale è sempre più importante per gli allievi ingegneri meccanici, sia perché la sua diffusione nei processi produttivi di qualunque genere è ormai generalizzata, sia per il fatto che, nel comparto produttivo locale, la progettazione e la costruzione delle macchine automatiche rappresentano un settore di primaria importanza per consistenza di fatturato e livello tecnologico.

L'indirizzo Automazione Industriale e Robotica si propone un approccio ai temi di base della automazione industriale, guidando allo studio funzionale, progettuale ed operativo dei mezzi tecnici per l'automazione dei processi produttivi di tipo discreto.

L'offerta didattica prevede, accanto a due Insegnamenti di carattere generale orientati all'analisi ed al progetto delle macchine automatiche nella loro diversa tipologia, alcuni contributi strettamente focalizzati su tematiche di rilevante interesse teorico ed applicativo: un Insegnamento di base sugli azionamenti elettrici, fondamentali nella automazione moderna; un Insegnamento di meccanica delle vibrazioni, particolarmente importante per lo studio di problemi funzionali e costruttivi delle moderne macchine ad alta velocità ed infine alcuni Insegnamenti di logistica relativi alla organizzazione ed al funzionamento di sistemi produttivi automatizzati.

Si offre così un quadro abbastanza completo dei principali aspetti dell'automazione industriale, spaziando dai problemi strettamente tecnici a quelli organizzativi e di gestione, in una ottica generale in cui risulta prevalente la visione generale di sistema.

## **Indirizzo Costruzioni**

L'indirizzo Costruzioni si propone l'approfondimento dello studio della impostazione, sviluppo e gestione del progetto costruttivo delle macchine nei suoi aspetti funzionale, produttivo ed economico.

L'articolazione dell'indirizzo prevede, accanto ai tre Insegnamenti di carattere generale orientati all'analisi ed al progetto delle macchine quali Costruzione di macchine II, Costruzione di macchine automatiche e robot e Analisi sperimentale delle tensioni, un Insegnamento di Meccanica delle vibrazioni, particolarmente importante per lo studio di problemi funzionali e costruttivi delle moderne macchine ad alta velocità, un Insegnamento di Disegno II orientato alle tecniche di Progettazione assistita con il computer, un insegnamento a scelta che può riguardare un approfondimento dei principi e dei metodi di progettazione, degli azionamenti elettrici o della conoscenza e della scelta dei materiali (Scienza dei metalli e Tecnologie generali dei materiali).

Si offre così un quadro abbastanza completo dei principali aspetti della progettazione meccanica, attraverso lo studio dei metodi che consentono una organizzazione moderna dell'impresa industriale, con particolare attenzione all'ufficio tecnico e, in generale, una progettazione per la qualità e l'affidabilità dei prodotti.

## **Indirizzo Energia**

L'Indirizzo Energia approfondisce gli argomenti che vengono trattati negli Insegnamenti di Macchine; vengono studiati gli scambi energetici fra i fluidi e le parti delle macchine con una visione funzionale dei problemi dell'ingegneria meccanica, focalizzata cioè sull'applicazione finale, sul comportamento operativo di quegli insiemi che costituiscono le macchine, motrici ed operatrici che siano.

Lo studio si sviluppa in un completo che comprende sia i problemi di base come quelli

dell'aerodinamica, sia quelli conclusivi della regolazione e del controllo, indispensabili per il governo al meglio degli apparati.

### **Indirizzo Materiali**

Questo Indirizzo, con riferimento specifico ai materiali, consente di orientare la specializzazione dello studente nell'area tecnologica dell'organizzazione dei cicli produttivi ed in quella più specificamente applicativa della realizzazione di particolari meccanici.

In tale ottica, l'Insegnamento di Tecnologie generali dei materiali, oltre alla conoscenza dei vari tipi di materiali di maggiore interesse meccanico, approfondisce il problema della scelta corretta (tenendo conto degli aspetti sia tecnologici che economici) sia del materiale che della sequenza delle operazioni produttive che consentono di ottenere particolari meccanici con prefissate caratteristiche.

Altri Insegnamenti quali Analisi sperimentale delle tensioni e Costruzione di macchine II sono rivolti da un lato ad approfondire la conoscenza delle possibili sollecitazioni dei pezzi meccanici e del loro rilievo, dall'altro a perfezionare metodologie di calcolo e valutazione delle prestazioni dei materiali in esercizio in realizzazioni pratiche.

Gli altri Insegnamenti offrono opportuni complementi soprattutto nel campo della applicazione dei materiali in relazione alle esigenze di ordine funzionale.

### **Indirizzo Produzione**

L'Indirizzo Produzione presenta all'allievo del Corso di Laurea in ingegneria Meccanica una trattazione completa delle tematiche, che riguardano i sistemi di produzione, le attrezzature e processi produttivi, fornendo le corrispondenti metodologie di analisi e i relativi criteri di scelta e progettazione. In particolare vengono trattati: i criteri generali di scelta (studio di fattibilità), progettazione e realizzazione degli impianti industriali siano essi manifatturieri o dell'industria di processo; la scelta del processo produttivo e i criteri di progettazione del ciclo di lavorazione; gli impianti ausiliari di servizio all'impianto tecnologico principale, con particolare attenzione anche agli impianti per il benessere dell'ambiente di lavoro; le tematiche dell'"energy saving" con particolare riferimento ai metodi di contenimento del costo energetico del prodotto e alle soluzioni impiantistiche per il risparmio ed il recupero energetico; i criteri di definizione e scelta della strumentazione industriale e dei sistemi di monitoraggio degli impianti meccanici e industriali ai fini del controllo di processo e di prodotto; i criteri di gestione dei materiali e di progettazione dei sistemi logistici all'interno della moderna fabbrica automatica flessibile; le metodologie di progettazione funzionale delle attrezzature automatiche, che intervengono nell'automazione dei processi produttivi.

### **Orientamento Trasporti**

Questo Orientamento, caratterizzato dagli Insegnamenti "Tecnica ed economia dei trasporti" e "Progettazione dei sistemi di trasporto" (obbligatori) e "Sistemi di trazione" e "Teoria e tecnica della circolazione" (facoltativi), tratta i problemi relativi alla utilizzazione e alla progettazione dei sistemi di trasporto terrestri, aerei e marittimi.

Vengono inoltre approfonditi alcuni particolari aspetti tecnici ed economici, sicché l'orientamento fornisce all'allievo gli strumenti necessari per operare nel settore dei trasporti a livello sia organizzativo che progettuale.

**ANNO I (disattivato)**

- 214900000000151 ANALISI MATEMATICA I  
 2149000000097581 DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE  
 2149000000000881 CHIMICA  
 2149000000004151 FISICA GENERALE I  
 2149000000097571 GEOMETRIA E ALGEBRA  
 2149000000020581 PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

**ANNO II (disattivato)**

- 2149000000013542 ANALISI MATEMATICA II  
 2149000000004172 FISICA GENERALE II  
 2149000000013792 MECCANICA RAZIONALE  
 2149000000097302 FONDAMENTI DI INFORMATICA

**ANNO III**

- |                  |                                   |         |
|------------------|-----------------------------------|---------|
| 2149000000067933 | ELETTROTECNICA                    | 1 ciclo |
| 2149000000004303 | FISICA TECNICA                    | 1 ciclo |
| 2149000000008903 | SCIENZA DELLE COSTRUZIONI         | 1 ciclo |
| 2149000000006873 | MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE | 2 ciclo |
| 2149000000042943 | MECCANICA DEI FLUIDI              | 2 ciclo |
| 2149000000010373 | TECNOLOGIA MECCANICA              | 2 ciclo |

**ORIENTAMENTO TRASPORTI****ANNO IV**

- |                  |  |         |
|------------------|--|---------|
| 2149000134001964 | CONTROLLI AUTOMATICI                   | 1 ciclo |
| 2149000134006704 | MACCHINE UTENSILI                      | 1 ciclo |
| 2149000134527074 | MISURE MECCANICHE, TERMICHE E COLLAUDI | 1 ciclo |
| 2149000134013844 | COSTRUZIONE DI MACCHINE                | 2 ciclo |
| 2149000134092684 | ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE   | 2 ciclo |
| 2149000134020784 | MACCHINE I                             | 2 ciclo |

1 materia a scelta tra (\*):

**ANNO V**

- |                  |                    |         |
|------------------|--------------------|---------|
| 2149000134005155 | IMPIANTI MECCANICI | 1 ciclo |
| 2149000134006675 | MACCHINE II(V)     | 1 ciclo |

5 materie a scelta tra (\*):

(\*) Materie a scelta per l'Orientamento Trasporti

- |                  |                                   |      |         |
|------------------|-----------------------------------|------|---------|
| 2149000134010315 | TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI | (IV) | 1 ciclo |
| 2149000134111645 | COSTRUZIONE DI MACCHINE II        | (V)  | 2 ciclo |
| 2149000134047105 | MECCANICA DELLE VIBRAZIONI        | (V)  | 2 ciclo |
| 2149000134067765 | SISTEMI DI TRAZIONE               | (V)  | 2 ciclo |

2 annualità a scelta di cui 1 fra tutte quelle attivate nella Facoltà e 1 fra le seguenti:

- |                  |                                     |      |         |
|------------------|-------------------------------------|------|---------|
| 2149000134103824 | AZIONAMENTI ELETTRICI               | (IV) | 1 ciclo |
| 2149000134037264 | DISEGNO DI MACCHINE                 | (IV) | 1 ciclo |
| 2149000134008865 | SCIENZA DEI METALLI                 | (V)  | 1 ciclo |
| 2149000134000025 | AERODINAMICA                        | (V)  | 2 ciclo |
| 2149000134041175 | ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI | (V)  | 2 ciclo |
| 2149000134102695 | LOGISTICA INDUSTRIALE               | (V)  | 2 ciclo |

2149000134128204	TECNOLOGIE DI CHIMICA APPLICATA	(IV)	2 ciclo
2149000134111775	TEORIA E TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE	(V)	1 ciclo

### INDIRIZZO AUTOMAZIONE INDUSTRIALE E ROBOTICA

#### ANNO IV

2149022000001964	CONTROLLI AUTOMATICI		1 ciclo
2149022000006704	MACCHINE UTENSILI		1 ciclo
2149022000527074	MISURE MECCANICHE, TERMICHE E COLLAUDI		1 ciclo
2149022000013844	COSTRUZIONE DI MACCHINE		2 ciclo
2149022000092684	ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE		2 ciclo
2149022000020784	MACCHINE I		2 ciclo

1 materia a scelta tra (\*):

#### ANNO V

2149022000005155	IMPIANTI MECCANICI		1 ciclo
2149000134006675	MACCHINE II	(V)	1 ciclo

5 materie a scelta tra (\*):

(\*) Materie a scelta per l'Indirizzo Automazione industriale e robotica

2149022000104155	MECCANICA DEI ROBOT	(V)	1 ciclo
2149022000104145	COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE E ROBOT	(V)	1 ciclo
2149022000103825	AZIONAMENTI ELETTRICI	(IV)	1 ciclo
2149022000102695	LOGISTICA INDUSTRIALE	(V)	2 ciclo
2149022000047105	MECCANICA DELLE VIBRAZIONI	(V)	2 ciclo

1 insegnamento a scelta (1), preferibilmente fra i seguenti:

2149022000037264	DISEGNO DI MACCHINE	(IV)	1 ciclo
2149022000008865	SCIENZA DEI METALLI	(V)	1 ciclo
2149022000111645	COSTRUZIONE DI MACCHINE II	(V)	2 ciclo
2149022000528035	ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE E DEI SISTEMI LOGISTICI	(V)	2 ciclo
2149022000128204	TECNOLOGIE DI CHIMICA APPLICATA	(IV)	2 ciclo

### INDIRIZZO COSTRUZIONI

#### ANNO IV

2149058000001964	CONTROLLI AUTOMATICI		1 ciclo
2149058000006704	MACCHINE UTENSILI		1 ciclo
2149058000527074	MISURE MECCANICHE, TERMICHE E COLLAUDI		1 ciclo
2149058000013844	COSTRUZIONE DI MACCHINE		2 ciclo
2149058000092684	ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE		2 ciclo
2149058000020784	MACCHINE I		2 ciclo

1 materia a scelta tra (\*):

#### ANNO V

2149058000005155	IMPIANTI MECCANICI	(V)	1 ciclo
2149000134006675	MACCHINE II	(V)	1 ciclo

5 materie a scelta tra (\*):

(\*) Materie a scelta per l'Indirizzo Costruzioni

2149058000037265	DISEGNO DI MACCHINE	(IV)	1 ciclo
2149058000104145	COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE E ROBOT	(V)	1 ciclo
2149058000041175	ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI	(V)	2 ciclo
2149058000111645	COSTRUZIONE DI MACCHINE II	(V)	2 ciclo
2149058000047105	MECCANICA DELLE VIBRAZIONI	(V)	2 ciclo
1 insegnamento a scelta (1), preferibilmente fra i seguenti:			
2149058000103824	AZIONAMENTI ELETTRICI	(IV)	1 ciclo
2149058000104155	MECCANICA DEI ROBOT	(V)	1 ciclo
2149058000530335	PRINCIPI E METODOLOGIE DELLA PROGETTAZIONE MECCANICA	(V)	1 ciclo
2149058000008865	SCIENZA DEI METALLI	(V)	1 ciclo
2149058000021214	TECNOLOGIE GENERALI DEI MATERIALI	(IV)	1 ciclo
2149058000000025	AERODINAMICA	(V)	2 ciclo
2149058000128204	TECNOLOGIE DI CHIMICA APPLICATA	(IV)	2 ciclo

### INDIRIZZO ENERGIA

#### ANNO IV

2149084000001964	CONTROLLI AUTOMATICI		1 ciclo
2149084000006704	MACCHINE UTENSILI		1 ciclo
2149084000527074	MISURE MECCANICHE, TERMICHE E COLLAUDI		1 ciclo
2149084000013844	COSTRUZIONE DI MACCHINE		2 ciclo
2149084000092684	ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE		2 ciclo
2149084000020784	MACCHINE I		2 ciclo

1 materia a scelta tra (\*):

#### ANNO V

2149084000005155	IMPIANTI MECCANICI		1 ciclo
2149000134006675	MACCHINE II	(V)	1 ciclo

5 materie a scelta tra (\*):

(\*) Materie a scelta per l'indirizzo Energia

2149084000128205	TECNOLOGIE DI CHIMICA APPLICATA	(IV)	2 ciclo
2149084000104195	DINAMICA E CONTROLLO DELLE MACCHINE	(V)	2 ciclo
2149084000104205	IMPIANTI INDUSTRIALI	(V)	2 ciclo
2149084000080815	TURBOMACCHINE	(V)	2 ciclo

Una annualità delle seguenti tre:

2149084000530335	PRINCIPI E METODOLOGIE DELLA PROGETTAZIONE MECCANICA	(V)	1 ciclo
2149084000104145	COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE E ROBOT	(V)	1 ciclo
2149084000041175	ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI	(V)	2 ciclo

1 insegnamento a scelta (1), preferibilmente fra i seguenti:

2149084000037264	DISEGNO DI MACCHINE	(IV)	1 ciclo
2149084000134835	INGEGNERIA DELLE MATERIE PRIME	(V)	1 ciclo
2149084000530335	PRINCIPI E METODOLOGIE DELLA PROGETTAZIONE MECCANICA	(V)	1 ciclo
2149084000008865	SCIENZA DEI METALLI	(V)	1 ciclo
2149084000000025	AERODINAMICA	(V)	2 ciclo
2149084000002705	ELETTRONICA APPLICATA (2)	(V)	2 ciclo

2149084000111654	GESTIONE DELL'ENERGIA	(IV)	2 ciclo
2149084000047665	IMPIANTI SPECIALI	(V)	2 ciclo
2149084000111684	INTERAZIONE FRA LE MACCHINE E L'AMBIENTE	(IV)	2 ciclo
2149084000047105	MECCANICA DELLE VIBRAZIONI	(V)	2 ciclo

**INDIRIZZO MATERIALI  
ANNO IV**

2149122000001964	CONTROLLI AUTOMATICI		1 ciclo
2149122000006704	MACCHINE UTENSILI		1 ciclo
2149122000527074	MISURE MECCANICHE, TERMICHE E COLLAUDI		1 ciclo
2149122000013844	CONSTRUZIONE DI MACCHINE		2 ciclo
2149122000092684	ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE		2 ciclo
2149122000020784	MACCHINE I		2 ciclo

1 materia a scelta tra (\*):

**ANNO V**

2149122000005155	IMPIANTI MECCANICI		1 ciclo
2149000134006675	MACCHINE II	(V)	1 ciclo

5 materie a scelta tra (\*):

(*) Materie a scelta per l'indirizzo Materiali			
2149122000021215	TECNOLOGIE GENERALI DEI MATERIALI	(IV)	1 ciclo
2149122000008865	SCIENZA DEI METALLI	(V)	1 ciclo
2149122000128205	TECNOLOGIE DI CHIMICA APPLICATA	(IV)	2 ciclo
2149122000041175	ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI	(V)	2 ciclo
2149122000111645	CONSTRUZIONE DI MACCHINE II	(V)	2 ciclo

1 insegnamento a scelta (1), preferibilmente fra i seguenti:

2149122000103824	AZIONAMENTI ELETTRICI	(IV)	1 ciclo
2149122000037264	DISEGNO DI MACCHINE	(IV)	1 ciclo
2149122000530335	PRINCIPI E METODOLOGIE DELLA PROGETTAZIONE MECCANICA	(V)	1 ciclo
2149122000047665	IMPIANTI SPECIALI	(V)	2 ciclo
2149122000022355	SCIENZA DEI MATERIALI	(V)	2 ciclo

**INDIRIZZO PRODUZIONE  
ANNO IV**

2149164000001964	CONTROLLI AUTOMATICI		1 ciclo
2149164000006704	MACCHINE UTENSILI		1 ciclo
2149164000527074	MISURE MECCANICHE, TERMICHE E COLLAUDI		1 ciclo
2149164000013844	CONSTRUZIONE DI MACCHINE		2 ciclo
2149164000092684	ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE		2 ciclo
2149164000020784	MACCHINE I		2 ciclo

1 materia a scelta tra (\*):

**ANNO V**

2149164000005155	IMPIANTI MECCANICI		1 ciclo
2149000134006675	MACCHINE II	(V)	1 ciclo

5 materie a scelta tra (\*):

(\*) Materie a scelta per l'indirizzo Produzione

2149164000104145	COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE E ROBOT	(V)	1 ciclo
2149164000104205	IMPIANTI INDUSTRIALI	(V)	2 ciclo
2 annualità delle seguenti 3:			
2149164000047665	IMPIANTI SPECIALI	(V)	2 ciclo
2149164000104215	SERVIZI GENERALI DI IMPIANTO	(V)	2 ciclo
2149164000134825	STRUMENTAZIONE E AUTOMAZIONE INDUSTRIALE	(V)	2 ciclo
1 annualità delle seguenti 2:			
2149164000021214	TECNOLOGIE GENERALI DEI MATERIALI	(IV)	1ciclo
2149164000111735	STUDI DI FABBRICAZIONE	(V)	2 ciclo
1 insegnamento a scelta (1), preferibilmente fra i seguenti:			
2149164000104155	MECCANICA DEI ROBOT	(V)	1 ciclo
2149164000021214	TECNOLOGIE GENERALI DEI MATERIALI	(IV)	1 ciclo
2149164000037264	DISEGNO DI MACCHINE	(IV)	1ciclo
2149164000008865	SCIENZA DEI METALLI	(V)	1ciclo
2149164000047665	IMPIANTI SPECIALI	(V)	2 ciclo
2149164000102695	LOGISTICA INDUSTRIALE	(V)	2 ciclo
2149164000528035	ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE E DEI SISTEMI LOGISTICI	(V)	2 ciclo
2149164000104215	SERVIZI GENERALI DI IMPIANTO	(V)	2 ciclo
2149164000134825	STRUMENTAZIONE E AUTOMAZIONE INDUSTRIALE	(V)	2 ciclo
2149164000111735	STUDI DI FABBRICAZIONE	(V)	2 ciclo
2149164000128204	TECNOLOGIE DI CHIMICA APPLICATA	(IV)	2 ciclo

(1) Fra tutte quelle attivate nella Facoltà

(2) Corso costituito dall'insieme delle due parti di Elettronica applicata contenute nei seguenti due corsi semestrali in serie: Elettronica applicata I e Elettronica applicata II del Corso di Laurea In Ingegneria Nucleare

## CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE (2150)

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Tullio Trombetti**

L'obiettivo generale del Corso di laurea in ingegneria Nucleare è quello di fornire un'ampia base culturale interdisciplinare e una qualificazione professionale approfondita e flessibile che costituiscono lo strumento più efficace per consentire agli allievi di mantenersi al passo con il rapido e incessante rinnovamento conoscitivo e tecnologico dell'odierno mondo industriale (in cui un grave rischio è costituito appunto dalla parcellizzazione e dalla rapida obsolescenza delle conoscenze), e di affrontare con successo attività di ricerca e sviluppo, applicazioni tecnologiche avanzate e problematiche complesse e di ampio respiro non solo nel campo nucleare ma in generale in un ambito industriale allargato.

La competenze professionali che il curriculum del Corso di laurea impartisce agli allievi nucleari sono legate a filoni assai ampi da sempre propri dell'ingegneria Nucleare che può essere caratterizzata in primo luogo come ingegneria di sistema e in secondo luogo come ingegneria di tecnologie avanzate.



La prima caratteristica è derivata dall'essere storicamente il sistema nucleare la sintesi di realizzazioni scientifiche e tecnologiche che richiedevano competenze avanzate in tutti i settori dell'ingegneria. Analisi di sistema, modellistica di sistemi complessi, affidabilità, garanzia della qualità, analisi di sicurezza, valutazione e prevenzione del rischio e dell'impatto ambientale sono tutte discipline che caratterizzano la figura professionale dell'ingegnere Nucleare. Molte di queste hanno ricevuto dalle esigenze rigorose, tipiche dell'industria nucleare, un impulso determinante per il loro progresso scientifico e tecnico.

La seconda caratteristica è legata sia all'impulso che l'ingegneria Nucleare ha fornito ad alcune specifiche tecnologie sia all'esportazione di metodologie di indagine tipiche dell'ingegneria Nucleare ad altri settori (scienze biologiche e mediche, scienze ambientali, applicazioni industriali dei plasmi, .....).

Attualmente il Corso di laurea è strutturato su 29 unità didattiche. Di queste, 5 sono a scelta dello studente e fanno capo a due Orientamenti: l'Orientamento Impiantistico-Costruttivo e l'Orientamento Ingegneria fisica e Modellistica. Le altre discipline tipiche dell'ingegneria industriale in generale e dell'ingegneria Nucleare in particolare sono comuni ad entrambi gli orientamenti e concorrono a formare le basi interdisciplinari del Corso di laurea.

### **Orientamento Impiantistico-Costruttivo**

L'Orientamento si propone, partendo dalle conoscenze ingegneristiche di base fornite dagli Insegnamenti fondamentali dell'ingegneria industriale e da quelli obbligatori dell'ingegneria Nucleare di più marcata caratterizzazione ingegneristica (Impianti nucleari, Termotecnica del reattore, Progetti e costruzioni nucleari, Misura delle radiazioni e protezione - Insegnamenti nei quali sempre più ampio spazio viene riservato ad aspetti di interesse e di applicabilità generale) di completare la formazione di ingegneri Nucleari in senso industriale con approfondite conoscenze nel settore degli impianti per la produzione di energia, quindi anche degli impianti elettronucleari, ma con solide basi di professionalità in tematiche avanzate e di sicuro interesse nel comparto industriale allargato.

In dipendenza delle scelte degli studenti (si rammenta infatti la possibilità di due insegnamenti a scelta nel IV anno e tre insegnamenti a scelta nel V anno, per un totale di cinque Insegnamenti a scelta su un totale di otto inseriti nell'orientamento) verranno sviluppate tematiche quali:

- analisi dei diversi sistemi di produzione d'energia e degli effetti ambientali e sanitari connessi, lo studio dei criteri e delle problematiche legate alla definizione e alla scelta dei siti suscettibili di insediamenti energetici in particolare e industriali in generale, l'analisi di rischio dei sistemi complessi di produzione finalizzata alla definizione dei livelli di sicurezza dei suddetti sistemi;

- lo studio e l'approfondimento delle moderne tecniche e metodologie di progettazione sia di parti e di componenti impiantistici complessi di tipo meccanico, con l'analisi degli effetti strutturali di carichi meccanici e termici variabili, sia di parti e di apparecchiature elettriche, con particolare riferimento agli azionamenti ed alle problematiche connesse alla presenza di disturbi elettromagnetici condotti ed irraggiati, ed alle linee guida per la progettazione di apparecchiature elettriche compatibili con le più recenti normative, l'analisi delle proprietà e delle caratteristiche dei materiali in relazione al loro impiego in campo impiantistico, sia in ambito meccanico che elettrico, "in una" coi necessari approfondimenti in merito alle tecnologie generali a supporto.

La motivazione di fondo dell'Orientamento proposto è quella, pertanto, di rispondere alla domanda di ingegneri Nucleari ma con elevata qualificazione tecnico-professionale che li ponga in condizione di affrontare con successo problematiche complesse ed avanzate in un ambito industriale allargato.

## Orientamento Ingegneria-Fisica e Modellistica

Questo Orientamento trova una prima importante motivazione in un contesto di armonizzazione ed inserimento in ambito europeo dei "curricula" di studio offerti dalle università italiane. Infatti lauree o curricula aventi questa denominazione, o altre affini, sono da tempo attivati all'interno della Comunità Europea in Paesi di grandi tradizioni culturali e industriali. In questo spirito l'Orientamento intende quindi anche rispondere alle aspirazioni di quegli studenti che si iscrivono al Corso di laurea in ingegneria Nucleare attirati dalla sua doppia valenza di curriculum professionale tipico dell'ingegneria industriale unito ad un marcato contenuto fisico. A questi studenti l'Orientamento intende fornire strumenti concettuali e metodologie che trovano crescente applicazione industriale.

Ciò risponde anche all'esigenza, oggi sempre più sentita nel mondo produttivo, di una formazione altamente flessibile e interdisciplinare dell'allievo ingegnere.

Al fine di realizzare questi obiettivi l'Orientamento di Ingegneria-fisica e Modellistica è dedicato anzitutto ad ampliare ed approfondire le conoscenze fisiche e matematiche di base fornite dalle discipline fondamentali (in particolare da quelle di Fisica nucleare, Metodi matematici per i reattori nucleari, Elementi di fisica dei reattori a fissione e fusione, Misura delle radiazioni e protezione etc.) specifiche del corso di laurea, e quindi a sviluppare capacità di modellazione fisica e computazionale di fenomeni e sistemi complessi. L'obiettivo è di fornire agli allievi le competenze metodologiche e professionali richieste:

- per la progettazione fisica di tali sistemi, tra i quali quelli dedicati alla produzione e trasformazione di energia;

- per l'applicazione a tali sistemi delle moderne tecniche di simultanea e combinata trattazione delle problematiche di analisi di sicurezza affidabilità garanzia di qualità, impatto ambientale (tutte problematiche alla cui origine ed evoluzione l'ingegneria Nucleare ha dato un contributo determinante e spesso dominante);

- per lo sviluppo delle applicazioni delle tecniche nucleari e delle radiazioni (laser, macchine acceleratrici, ...); per lo sviluppo dei plasmi per applicazioni industriali (trattamento dei materiali, trattamento delle superfici, metallurgia a plasma, chimica del plasma) e più in generale delle tecnologie avanzate aventi rilevante contenuto fisico nell'ambito delle scienze applicate (biologiche, geologiche, ambientali, ...) e dei processi industriali.

L'impostazione dell'Orientamento è intesa a realizzare l'obiettivo generale del Corso di laurea che è quello di fornire agli allievi una base culturale ampia e una qualificazione professionale flessibile, che li pongano in grado di dedicarsi con successo ad attività di ricerca e sviluppo e ad applicazioni tecnologiche avanzate, non solo nel campo nucleare ma in generale nel settore industriale.

### ANNO I (disattivato)

- 215000000000151 ANALISI MATEMATICA I
- 2150000000097581 DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE
- 215000000000881 CHIMICA
- 215000000004151 FISICA GENERALE I
- 2150000000097571 GEOMETRIA E ALGEBRA
- 215000000020581 PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

### ANNO II (disattivato)

- 215000000013542 ANALISI MATEMATICA II
- 215000000004172 FISICA GENERALE II
- 215000000004302 FISICA TECNICA

215000000097302 **FONDAMENTI DI INFORMATICA**  
 215000000013792 **MECCANICA RAZIONALE**

### ANNO III

215000000067933	ELETTROTECNICA	2 ciclo
215000000004223	FISICA NUCLEARE	2 ciclo
215000000008903	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	1 ciclo
2150000000506373	(sem.) CONTROLLI AUTOMATICI I	2 ciclo
2150000000512983	(sem.) ELETTRONICA APPLICATA I	2 ciclo
215000000006873	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	2 ciclo
2150000000099403	METODI MATEMATICI PER I REATTORI NUCLEARI	1 ciclo

### ANNO IV

215000000013844	COSTRUZIONE DI MACCHINE	1 ciclo
2150000000543734	FONDAMENTI DI FISICA DEI REATTORI A FISSIONE E A FUSIONE	1 ciclo
2150000000092684	ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE	2 ciclo
215000000006634	MACCHINE	2 ciclo

2 annualità di orientamento a scelta

### ANNO V

2150000000005175	IMPIANTI NUCLEARI	1 ciclo
2150000000010595	TERMOTECNICA DEL REATTORE	1 ciclo
2150000000146185	RADIOPROTEZIONE FISICA	2 ciclo
2150000000111945	TECNOLOGIE E APPLICAZIONI NUCLEARI	2 ciclo

3 annualità di orientamento a scelta

#### 1) Orientamento Impiantistico Costruttivo

2150000000103825	AZIONAMENTI ELETTRICI	(V)	2 ciclo
2150000000530335	PRINCIPI E METODOLOGIE DELLA PROGETTAZIONE MECCANICA	(V)	1 ciclo
2150000000103914	SICUREZZA E ANALISI DI RISCHIO	(IV)	1 ciclo
2150000000010444	TECNOLOGIA DEI MATERIALI NUCLEARI	(IV)	1 ciclo
2150000000079424	CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI	(IV)	2 ciclo
2150000000134795	COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA INDUSTRIALE	(V)	2 ciclo
2150000000079725	ENERGETICA E SISTEMI NUCLEARI	(V)	2 ciclo
2150000000523835	(sem.) LOCALIZZAZIONE DEI SISTEMI ENERGETICI I	(V)	2 ciclo
2150000000523845	(sem.) LOCALIZZAZIONE DEI SISTEMI ENERGETICI II	(V)	2 ciclo
2150000000113515	PROGETTI E COSTRUZIONI NUCLEARI	(V)	2 ciclo

#### 2) Orientamento Ingegneria Fisica e Modellistica

2150000000100085	MAGNETOFLUIDODINAMICA APPLICATA	(V)	1 ciclo
2150000000134895	METODI NUMERICI PER I REATTORI NUCLEARI	(V)	1 ciclo
2150000000079424	CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI	(IV)	2 ciclo
2150000000506394	(sem.) CONTROLLI AUTOMATICI II		

	(SEMESTRALE)	(IV)	2 ciclo
2150000000513024	(sem.) ELETTRONICA APPLICATA II		
	(SEMESTRALE)	(IV)	2 ciclo
2150000000111935	REATTORI NUCLEARI AVANZATI	(V)	2 ciclo
2150000000111814	TRASPORTO DI PARTICELLE E DI RADIAZIONE	(IV)	2 ciclo

---

## CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO (2151)

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Fulvio Ciancabilla**

Il Corso di laurea in ingegneria per l'Ambiente e il Territorio è stato istituito con la modifica dell'orientamento didattico della Facoltà di Ingegneria, emanato con D.P.R. in data 20/5/89. In esso sono riuniti alcuni Corsi di laurea precedentemente autonomi, finalizzati alla formazione di tecnici specializzati in tematiche volte alla protezione dell'ambiente dagli effetti potenzialmente negativi delle attività umane, allo studio ed alla pianificazione del territorio ai fini del suo utilizzo e della sua conservazione, allo sfruttamento razionale delle materie prime presenti nel sottosuolo.

Il Corso di laurea, avente caratteristiche intersettoriali, può essere articolato in Indirizzi definiti a livello nazionale e che vengono a prendere il posto delle sezioni del vecchio ordinamento. In particolare, esso è caratterizzato dai seguenti Indirizzi:

- Ambiente;
- Difesa del suolo;
- Georisorse;
- Geotecnologie;
- Pianificazione e gestione territoriale.

Comuni a tutti gli indirizzi sono:

- una base fisico-matematica integrata da conoscenze essenziali nel campo della elaborazione dell'informazione e in quello dell'economia;
- la presenza delle discipline tecnico applicative proprie dei settori civile ed industriale;
- una solida preparazione nel campo delle Scienze della Terra, considerata come fonte di materie prime, come ambiente in cui costruire e come bene da preservare dal degrado geologico ed ambientale.

### Indirizzo Ambiente

È destinato a coordinare le esperienze didattiche e scientifiche proprie del settore dell'ingegneria Sanitaria e dell'ingegneria Chimica-ambientale. Inoltre ha come obiettivo la formazione di un tecnico in grado di:

- valutare i rischi ambientali conseguenti ad attività produttive o di servizi;
- controllare o modificare i processi industriali che possono produrre inquinamento;
- studiare le tecniche e progettare gli impianti per il disinquinamento e il recupero dell'ambiente;
- progettare gli impianti per il trattamento dei rifiuti solidi, liquidi e gassosi.

### **Indirizzo Difesa del Suolo**

Ha per obiettivo la formazione di un ingegnere capace di progettare, realizzare e gestire interventi di prevenzione del dissesto del territorio per cause naturali o antropiche ed il recupero dello stesso, qualora interessato da fenomeni in atto; in particolare tra i principali interventi si possono ricordare:

- la sistemazione di bacini idrografici;
- la protezione dei litorali;
- la prevenzione di frane e scoscendimenti;
- la protezione da rischio sismico.

### **Indirizzo Georisorse**

Ha come scopo la preparazione degli ingegneri nei settori della ricerca, della produzione e della valorizzazione delle materie prime minerali, dei materiali litoidi e delle pietre ornamentali e da costruzione, dei combustibili fossili (con particolare riferimento agli idrocarburi) e delle acque sotterranee.

La trattazione di questi settori culturali richiede tecniche particolari e diverse tra di loro a seconda che le risorse si presentino allo stato naturale come solide, liquide o gassose e che vengano estratte a cielo aperto o in sotterraneo, con metodi convenzionali oppure speciali.

L'utilizzazione delle risorse geologiche e minerarie del territorio richiede, inoltre, di operare con criteri di ottimizzazione del bilancio economico, di sicurezza del lavoro e di difesa ambientale, in particolare ove sono più intensi gli insediamenti antropici.

### **Indirizzo Geotecnologie**

Fornisce la cultura tecnico-progettuale che consente di formulare modelli di comportamento dell'interazione tra opere di ingegneria e contesto geologico (terreni e rocce).

Vengono così affrontati i temi della progettazione, realizzazione, controllo e direzione dei lavori per le opere realizzate sul territorio con costruzioni nei terreni e nelle rocce, a cielo aperto ed in sotterraneo, ed atte ad ospitare funzioni della vita associativa e ad insediare strutture di servizio (gallerie di transito, di trasporto; caverne di deposito di produzione, etc.) operando con criteri di sicurezza del lavoro e di previsione e prevenzione delle ripercussioni ambientali nell'ambito della normativa nazionale e locale.

### **Indirizzo Pianificazione e Gestione Territoriale**

Si propone di formare un ingegnere in grado di operare nella gestione del territorio, nella progettazione delle infrastrutture e dei sistemi insediativi.

L'indirizzo intende fornire elementi per la determinazione di un corretto campo di applicazione delle tecniche quantitative nella pianificazione territoriale alle diverse scale.

Come si vede, i cinque indirizzi del Corso di laurea in ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, coprono un'area molto vasta e, tuttavia, obiettivo comune a tutti è quello di creare una medesima figura di ingegnere avente conoscenze interdisciplinari, che può trovare la sua collocazione in Società di ingegneria, Pubbliche amministrazioni, Industrie ed Enti preposti alla progettazione e alla gestione delle infrastrutture e delle opere di difesa del suolo e dell'ambiente, nonché nella libera professione.

Gli Insegnamenti del Corso di laurea sono organizzati in raggruppamenti e le annualità necessarie per il conseguimento della laurea sono 28, di cui 9 comuni a tutti i Corsi di laurea in ingegneria ed i rimanenti caratterizzanti il Corso di laurea e i cinque Indirizzi.

#### ANNO I (disattivato)

- 215100000000151 ANALISI MATEMATICA I  
 2151000000097581 DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE  
 215100000000881 CHIMICA  
 2151000000004151 FISICA GENERALE I  
 2151000000097571 GEOMETRIA E ALGEBRA  
 2151000000020581 PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE

#### ANNO II (disattivato)

- 2151000000013542 ANALISI MATEMATICA II  
 2151000000079432 (sem.) ELEMENTI DI ECOLOGIA  
 2151000000004172 FISICA GENERALE II  
 2151000000539942 (sem.) TECNOLOGIE DI CHIMICA APPLICATA  
 2151000000092682 ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE  
 2151000000097302 FONDAMENTI DI INFORMATICA  
 2151000000013792 MECCANICA RAZIONALE

#### INDIRIZZO AMBIENTE

##### ANNO III

- |                  |                              |         |
|------------------|------------------------------|---------|
| 2151003000067933 | (sem.) ELETTROTECHNICA       | 1 ciclo |
| 2151003000104273 | FISICA TECNICA AMBIENTALE    | 1 ciclo |
| 2151003000004653 | GEOLOGIA APPLICATA           | 1 ciclo |
| 2151003000162933 | IDRAULICA AMBIENTALE         | 1 ciclo |
| 2151003000008903 | SCIENZA DELLE COSTRUZIONI    | 1 ciclo |
| 2151003000510463 | (sem.) DIRITTO DELL'AMBIENTE | 2 ciclo |
| 2151003000068783 | (sem.) ELETTROTECHNICA II    | 2 ciclo |
| 2151003000006633 | (sem.) MACCHINE              | 2 ciclo |

##### ANNO IV

- |                  |   |         |
|------------------|---|---------|
| 2151003000041144 | MECCANICA DELLE ROCCE                     | 1 ciclo |
| 2151003000004934 | IDROLOGIA                                 | 1 ciclo |
| 2151003000010614 | TOPOGRAFIA                                | 1 ciclo |
| 2151003000518524 | INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE           | 2 ciclo |
| 2151003000104024 | PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE | 2 ciclo |
- 1 materia di orientamento a scelta

##### ANNO V

- |                  |   |         |
|------------------|---|---------|
| 2151003000111375 | INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE                   | 1 ciclo |
| 2151003000090435 | INGEGNERIA DEL TERRITORIO                       | 1 ciclo |
| 2151003000543955 | MODELLISTICA E CONTROLLO DEI SISTEMI AMBIENTALI | 2 ciclo |
- 2 annualità di orientamento a scelta

## MATERIE DI ORIENTAMENTO

	A) Orientamento Ingegneria di Processo		
2151003000099415	ANALISI DI SICUREZZA NELL'INDUSTRIA DI PROCESSO	(V)	1 ciclo
2151003000104264	(sem.) ANALISI STRUMENTALE E CONTROLLO DEI MATERIALI	(IV)	2 ciclo
2151003000001375	CHIMICA INDUSTRIALE	(V)	1 ciclo
2151003000041354	(sem.) IDROGEOLOGIA APPLICATA	(IV)	2 ciclo
2151003000111435	PROCESSI BIOTECNOLOGICI AMBIENTALI	(V)	2 ciclo
2151003000111744	TECNICA DELLA SICUREZZA AMBIENTALE	(IV)	2 ciclo

## B) Orientamento Ingegneria Sanitaria

2151003000002065	COSTRUZIONI IDRAULICHE	(V)	1 ciclo
2151003000020065	ACQUEDOTTI E FOGNATURE	(V)	1 ciclo
2151003000134835	INGEGNERIA DELLE MATERIE PRIME	(V)	1 ciclo
21510030000518545	INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE II	(V)	1 ciclo
2151003000079474	(sem.) MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO	(IV)	1 ciclo
2151003000017245	GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE	(V)	2 ciclo
2151003000041354	(sem.) IDROGEOLOGIA APPLICATA	(IV)	2 ciclo

## C) Orientamento Ingegneria delle materie prime

2151003000134835	INGEGNERIA DELLE MATERIE PRIME	(V)	1 ciclo
2151003000079474	(sem.) MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO	(IV)	1 ciclo
2151003000001375	CHIMICA INDUSTRIALE	(V)	1 ciclo
2151003000117025	CAVE E RECUPERO AMBIENTALE	(V)	2 ciclo
2151003000041354	(sem.) IDROGEOLOGIA APPLICATA	(IV)	2 ciclo
2151003000111685	INTERAZIONE FRA LE MACCHINE E L'AMBIENTE	(V)	2 ciclo

## D) Orientamento Biotecnologia ambientale

2151003000099415	ANALISI DI SICUREZZA NELL'INDUSTRIA DI PROCESSO	(V)	1 ciclo
2151003000081274	BIOCHIMICA INDUSTRIALE	(IV)	2 ciclo
2151003000111435	PROCESSI BIOTECNOLOGICI AMBIENTALI	(V)	2 ciclo

## E) Orientamento Costruzioni ambientali

2151003000002065	COSTRUZIONI IDRAULICHE	(V)	1 ciclo
2151003000117025	CAVE E RECUPERO AMBIENTALE	(V)	2 ciclo
2151003000090474	TECNICA DELLE COSTRUZIONI	(IV)	2 ciclo

INDIRIZZO DIFESA DEL SUOLO  
ANNO III

2151072000067933	(sem.) ELETTROTECNICA		1 ciclo
2151072000104273	FISICA TECNICA AMBIENTALE		1 ciclo
2151072000162933	IDRAULICA AMBIENTALE		1 ciclo
2151072000008903	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI		1 ciclo
21510720000510463	(sem.) DIRITTO DELL'AMBIENTE		2 ciclo

2151072000004643	<b>GEOLOGIA</b>	2 ciclo
2151072000006633	(sem.) <b>MACCHINE</b>	2 ciclo
<b>ANNO IV</b>		
2151072000020074	<b>GEOTECNICA</b>	2 ciclo
2151072000518524	<b>INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE</b>	2 ciclo
2151072000090474	<b>TECNICA DELLE COSTRUZIONI</b>	2 ciclo
2151072000004934	<b>IDROLOGIA</b>	1 ciclo
2151072000041144	<b>MECCANICA DELLE ROCCE</b>	1 ciclo
2151072000010614	<b>TOPOGRAFIA</b>	1 ciclo

<b>ANNO V</b>		
2151072000002065	<b>COSTRUZIONI IDRAULICHE</b>	
2151072000079475	(sem.) <b>MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO</b>	1 ciclo
2151072000111725	<b>PROTEZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO</b>	1 ciclo
2151072000010195	<b>TECNICA DEI SONDAGGI</b>	2 ciclo
	2 annualità a scelta fra:	
2151072000024245	<b>COSTRUZIONI MARITTIME</b>	(V)
2151072000016565	<b>FOTOGRAMMETRIA</b>	(V) 1 ciclo
2151072000057245	<b>GEOFISICA APPLICATA</b>	(V) 1 ciclo
2151072000517245	(sem.) <b>GEOSTATISTICA APPLICATA</b>	(V) 1 ciclo
2151072000090435	<b>INGEGNERIA DEL TERRITORIO</b>	(V) 1 ciclo
2151072000117025	<b>CAVE E RECUPERO AMBIENTALE</b>	(V) 2 ciclo
2151072000041255	<b>CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI</b>	(V) 2 ciclo
2151072000017245	<b>GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE</b>	(V) 2 ciclo
2151072000041355	(sem.) <b>IDROGEOLOGIA APPLICATA</b>	(V) 2 ciclo
2151072000543955	<b>MODELLISTICA E CONTROLLO DEI SISTEMI AMBIENTALI</b>	(V) 2 ciclo
2151072000111745	<b>TECNICA DELLA SICUREZZA AMBIENTALE</b>	(V) 2 ciclo

**INDIRIZZO GEORISORSE****ANNO III**

2151103000067933	(sem.) <b>ELETTROTECNICA</b>	1 ciclo
2151103000104273	<b>FISICA TECNICA AMBIENTALE</b>	1 ciclo
2151103000162933	<b>IDRAULICA AMBIENTALE</b>	1 ciclo
2151103000146193	<b>MINERALOGIA E LITOLOGIA</b>	1 ciclo
2151103000008903	<b>SCIENZA DELLE COSTRUZIONI</b>	1 ciclo
2151103000004643	<b>GEOLOGIA</b>	2 ciclo
2151103000006633	(sem.) <b>MACCHINE</b>	2 ciclo

**ANNO IV**

2151103000004824	<b>GIACIMENTI MINERARI</b>	1 ciclo
2151103000041144	<b>MECCANICA DELLE ROCCE</b>	1 ciclo
2151103000000544	<b>ARTE MINERARIA</b>	2 ciclo
2151103000010614	<b>TOPOGRAFIA</b>	1 ciclo

1 annualità di orientamento a scelta



## ANNO V

2151103000134835	INGEGNERIA DELLE MATERIE PRIME		1 ciclo
2151103000057245	GEOFISICA APPLICATA		1 ciclo
2151103000510465	(sem.) DIRITTO DELL'AMBIENTE		2 ciclo
2151103000010195	TECNICA DEI SONDAGGI		2 ciclo
2151103000111385	INGEGNERIA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI		2 ciclo

1,5 annualità di orientamento a scelta

## MATERIE DI ORIENTAMENTO

A) Orientamento Cave e Miniere			
2151103000517244	(sem.) GEOSTATISTICA APPLICATA	(IV)	1 ciclo
2151103000005164	IMPIANTI MINERARI	(IV)	1 ciclo
2151103000079474	(sem.) MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO	(IV)	1 ciclo
2151103000117025	CAVE E RECUPERO AMBIENTALE	(V)	2 ciclo
2151103000041354	(sem.) IDROGEOLOGIA APPLICATA	(IV)	2 ciclo
2151103000020845	(sem.) DIRITTO MINERARIO	(V)	2 ciclo

## B) Orientamento Idrocarburi e fluidi endogeni

2151103000517244	(sem.) GEOSTATISTICA APPLICATA	(IV)	1 ciclo
2151103000079474	(sem.) MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO	(IV)	1 ciclo
2151103000008165	PRODUZIONE E TRASPORTO DEGLI IDROCARBURI	(V)	1 ciclo
2151103000041354	(sem.) IDROGEOLOGIA APPLICATA	(IV)	2 ciclo
2151103000007315	MISURE E CONTROLLI NEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI	(V)	2 ciclo
2151103000020845	(sem.) DIRITTO MINERARIO	(V)	2 ciclo

## INDIRIZZO GEOTECNOLOGIE

## ANNO III

2151105000067933	(sem.) ELETTROTECNICA		1 ciclo
2151105000104273	FISICA TECNICA AMBIENTALE		1 ciclo
2151105000162933	IDRAULICA AMBIENTALE		1 ciclo
2151105000146193	MINERALOGIA E LITOLOGIA		1 ciclo
2151105000008903	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI		1 ciclo
2151105000004643	GEOLOGIA		2 ciclo
2151105000006633	(sem.) MACCHINE		2 ciclo

## ANNO IV

2151105000020074	GEOTECNICA		2 ciclo
2151105000079474	(sem.) MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO		1 ciclo
2151105000041144	MECCANICA DELLE ROCCE		1 ciclo
2151105000010614	TOPOGRAFIA		1 ciclo
2151105000510464	(sem.) DIRITTO DELL'AMBIENTE		2 ciclo
2151105000090474	TECNICA DELLE COSTRUZIONI		2 ciclo

1 annualità a scelta

## ANNO V

2151105000057245	GEOFISICA APPLICATA	1 ciclo
2151105000120905	INGEGNERIA DEGLI SCAVI	2 ciclo
2151105000010195	TECNICA DEI SONDAGGI	2 ciclo

2 annualità a scelta

## MATERIE A SCELTA

2151105000002065	COSTRUZIONI IDRAULICHE	(V)	1 ciclo
2151105000509445	COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI	(V)	1 ciclo
2151105000016565	FOTOGRAMMETRIA	(V)	1 ciclo
2151105000517244	(sem.) GEOSTATISTICA APPLICATA	(IV)	1 ciclo
2151105000005164	IMPIANTI MINERARI	(IV)	1 ciclo
2151105000090435	INGEGNERIA DEL TERRITORIO	(V)	1 ciclo
2151105000134835	INGEGNERIA DELLE MATERIE PRIME	(V)	1 ciclo
2151105000117025	CAVE E RECUPERO AMBIENTALE	(V)	2 ciclo
2151105000041255	CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI	(V)	2 ciclo
2151105000041354	(sem.) IDROGEOLOGIA APPLICATA	(IV)	2 ciclo
2151105000537795	(sem.) STRUTTURE DI FONDAZIONE	(V)	2 ciclo
2151105000020845	(sem.) DIRITTO MINERARIO	(V)	2 ciclo

## INDIRIZZO PIANIFICAZIONE E GESTIONE TERRITORIALE

## ANNO III

2151158000067933	(sem.) ELETTROTECNICA	1 ciclo
2151158000104273	FISICA TECNICA AMBIENTALE	1 ciclo
2151158000004653	GEOLOGIA APPLICATA	1 ciclo
2151158000162933	IDRAULICA AMBIENTALE	1 ciclo
2151158000008903	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	1 ciclo
2151158000010163	TECNICA URBANISTICA	1 ciclo
2151158000006633	(sem.) MACCHINE	2 ciclo

## ANNO IV

2151158000092354	TECNICA URBANISTICA II	1 ciclo
2151158000041144	MECCANICA DELLE ROCCE	1 ciclo
2151158000111744	TECNICA DELLA SICUREZZA AMBIENTALE	2 ciclo
2151158000010614	TOPOGRAFIA	1 ciclo
2151158000518524	INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE	2 ciclo
2151158000017244	GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE	2 ciclo
2151158000090474	TECNICA DELLE COSTRUZIONI	2 ciclo

## ANNO V

2151158000543965	TECNICHE DI ANALISI URBANE E TERRITORIALI	1 ciclo
2151158000010315	TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI	1 ciclo
2151158000510465	(sem.) DIRITTO DELL'AMBIENTE	2 ciclo

2 annualità a scelta

## MATERIE A SCELTA

2151158000002065	COSTRUZIONI IDRAULICHE	(V)	1 ciclo
------------------	------------------------	-----	---------

215115800099415	ANALISI DI SICUREZZA NELL'INDUSTRIA DI PROCESSO	(V)	1 ciclo
2151158000509445	COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI	(V)	1 ciclo
2151158000016565	FOTOGRAMMETRIA	(V)	1 ciclo
2151158000517244	(sem.) GEOSTATISTICA APPLICATA	(IV)	1 ciclo
2151105000079474	(sem.) MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO	(IV)	1 ciclo
2151158000117025	CAVE E RECUPERO AMBIENTALE	(V)	2 ciclo
2151158000041354	(sem.) IDROGEOLOGIA APPLICATA	(IV)	2 ciclo
2151158000111685	INTERAZIONE FRA LE MACCHINE E L'AMBIENTE	(V)	2 ciclo
2151158000010195	TECNICA DEI SONDAGGI	(V)	2 ciclo

## CORSO DI DIPLOMA UNIVERSITARIO IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DELLE RISORSE

**Presidente del Consiglio di Corso di Diploma: Prof. Leonardo Marchetti**

Il Corso è diretto a formare tecnici di alto livello in grado di gestire, con una propria capacità di valutazione e di intervento, i problemi ambientali e di sicurezza presenti nella realizzazione e nella conduzione dei processi industriali, ivi includendo anche quelli di produzione delle materie prime delle attività di servizio. Esso prevede due orientamenti, *ambiente e risorse*, che, muovendo da una comune formazione ingegneristica su problemi fondamentali e applicativi, finalizzano rispettivamente la preparazione sui temi della prevenzione e protezione ambientale e della valorizzazione delle risorse, in entrambi i casi rivolgendo particolare attenzione agli aspetti di processo, impiantistici, energetici e gestionali. Tra i numerosi settori di competenza si citano quali esempi la conduzione di cantiere e di impianto, la gestione di impianti di depurazione acque o di correnti gassose, di smaltimento rifiuti solidi, di esplorazione e produzione idrocarburi, di estrazione di materie prime minerali, con particolare riferimento a sabbie e ghiaie, lo studio e la protezione dei sistemi acquiferi ed infine le attività delle Unità Sanitarie Locali e degli altri organismi volti al controllo dell'ambiente.

### TERZO ANNO

Meccanica Applicata alle Macchine	Meccanica Applicata alle Macchine	2
Tecnica della Sicurezza Ambientale	Tecnica della Sicurezza Ambientale	3
Ingegneria degli Acquiferi	Ingegneria degli Acquiferi	1
Ingegneria Sanitaria-Ambientale	Ingegneria Sanitaria-Ambientale	1
Economia ed Organizzazione Aziendale	Economia ed Organizzazione Aziendale	2
Macchine	Macchine	2
Topografia	Topografia	2
Tre Insegnamenti a scelta:		
Orientamento Ambiente:		

Recupero Ambientale	Cave e Recupero Ambientale	1
Ingegneria Chimica Ambientale II	Ingegneria Chimica Ambientale II	3
Strumentazione Industriale Chimica	Strumentazione Industriale Chimica	3
Orientamento Risorse:		
Produzione e Trasporto degli Idrocarburi	Produzione e Trasporto degli Idrocarburi	3
Ingegneria dei Giacimenti di Idrocarburi	Ingegneria dei Giacimenti di Idrocarburi	1
Ingegneria delle Materie Prime	Ingegneria delle Materie Prime	3

## CORSO DI DIPLOMA UNIVERSITARIO IN EDILIZIA (sede di Cesena)

**Presidente del Consiglio di Corso di Diploma: Prof. Carlo Monti**

Il Corso fornisce agli studenti una adeguata conoscenza dei metodi e dei contenuti culturali e scientifici necessari a raggiungere il migliore livello formativo oggi richiesto nell'area professionale del settore edilizio.

Sono previsti indirizzi di: "costruzione" e "rilevamento". Il corso fornisce quindi competenze per rispondere alla domanda presente nel settore edilizio, tanto nel privato che nella pubblica amministrazione, nei campi della organizzazione e conduzione del cantiere edile, dell'attività di rilevamento dell'architettura e dell'ambiente, della gestione e della stima economica dei processi edilizi.

Il corso degli studi ha durata triennale.

Al compimento degli studi viene conseguito il titolo di *Diplomato universitario in edilizia*.

Si tratta quindi di una scuola per tecnici di base, che possano operare nel campo dell'architettura e dell'edilizia, adatta a preparare giovani da inserire attivamente nei cantieri, negli uffici tecnici, pubblici e privati, nei grandi studi di progettazione.

Un tecnico molto atteso, e di cui si sente certamente una forte necessità.

Una figura da tempo richiesta dalle forze produttive.

Una scuola nuova, con numero programmato, per formare meglio gli studenti, organizzati in gruppi di lavoro costantemente seguiti, con presenza continua di una docenza mista, principalmente ricavata dall'Università di Bologna, con la sua tradizione, ma anche dalle forze produttive della regione.

Lezioni, laboratori e tirocinio, contatti con l'esterno: una scuola nuova per un lavoro nuovo ma molto atteso.

Nell'ultimo anno del triennio, anche esperienze di tirocinio nell'industria. Tale attività didattica si svolgerà presso qualificate strutture di enti, imprese private e pubbliche operanti nel settore dell'ingegneria edile, civile, dell'architettura e dell'urbanistica, tramite apposite convenzioni che possono anche prevedere l'utilizzazione di esperti di tali strutture per attività didattiche speciali. Si informa che una parte significativa degli studi svolti potrà essere riconosciuta in caso di iscrizione ai corsi di Ingegneria Edile o di Architettura.

Un'organizzazione adatta alle novità del mercato nel campo delle tecnologie.

Parte dell'attività didattica si svolgerà anche presso qualificate strutture di enti ed imprese pubbliche o private operanti nel settore dell'ingegneria edile, dell'architettura e dell'urbanistica, tramite convenzioni che possono prevedere anche l'utilizzazione di esperti appartenenti a tali strutture ed istituti, per attività didattiche speciali.

L'attività di tirocinio si svolgerà presso qualificate strutture pubbliche o private italiane o straniere con le quali verranno stipulate le apposite convenzioni.

## TERZO ANNO

Tecnologie per l'edilizia	Impianti tecnici	1
Rilievo e progetto	Tecnologia dei materiali e chimica applicata	1
Costruzioni 2	Elementi di progettazione edile	1
Indirizzo Costruzione	Rilievo dell'architettura	1
Architettura e recupero	Elementi di tecnica delle costruzioni 2	2
Produzione edilizia	Elementi di geotecnica	2
Indirizzo Rilevamento	Architettura tecnica	2
Architettura	Recupero e conservazione degli edifici	3
Rappresentazione e analisi del territorio	Tecnologie della produzione edilizia 2	2
Tirocinio (200 ore)	Programmazione e costi per l'edilizia	3
	Composizione architettonica	3
	Storia dell'architettura	3
	Cartografia tematica ed automatica	2
	Fotogrammetria	3
		3

## ELENCO DEGLI INSEGNAMENTI DI CUI I DOCENTI HANNO RESO DISPONIBILI I PROGRAMMI

LEGENDA CORSI STUDIO	Abbreviazioni
EDILE / EDILE - ARCHITETTURA	D
CHIMICA	Q
CIVILE	C
DELL'AUTOMAZIONE	A
DELLE TELECOMUNICAZIONI	T
ELETTRICA	E
ELETTRONICA	L
GESTIONALE	G/BO
PROCESSI GESTIONALI	P
INFORMATICA	I
MECCANICA	M
NUCLEARE / ENERGETICA	N
PER L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO	R
<b>Corsi di Diploma in Ingegneria</b>	
DELL'AMBIENTE E DELLE RISORSE	duamb
EDILIZIA (sede di Cesena)	dud

Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
ACQUEDOTTI E FOGNATURE	R	BO	MARINELLI ALBERTO	202
ACUSTICA APPLICATA	D,C	BO	GARAI MASSIMO	203
AERODINAMICA	C,M	BO	SCARPI GIAMBATTISTA	204
AFFIDABILITÀ E CONTROLLO DI QUALITÀ	G_BO	BO	RINALDI MARIO	207
AFFIDABILITÀ E CONTROLLO DI QUALITÀ L A	T, L, I	BO	PERETTO LORENZO	
AFFIDABILITÀ E DIAGNOSTICA DI COMPONENTI E CIRCUITI ELETTRONICI	L	BO	METRA CECILIA	209
AFFIDABILITÀ E STATISTICA PER I SISTEMI ELETTRICI L	E	BO	MONTANARI GIAN CARLO	211
AFFIDABILITÀ E DIAGNOSTICA DEI SISTEMI ELETTRICI	E	BO	CAVALLINI ANDREA	208
ANALISI DI SICUREZZA NELL' INDUSTRIA DI PROCESSO	R,Q,G_BO	BO	BONVICINI SARAH	212
ANALISI MATEMATICA I	D	BO	RAVAGLIA CARLO	214
ANALISI MATEMATICA II	D	BO	RAVAGLIA CARLO	214
ANALISI MATEMATICA L A	I(A-E), A	BO	ABENDA SIMONETTA	218
ANALISI MATEMATICA L A	R,Q	BO	CITTI GIOVANNA	216
ANALISI MATEMATICA L A	C, N	BO	PAPINI PIER LUIGI	222
ANALISI MATEMATICA L A	G_BO, P	BO	DORE GIOVANNI	217
ANALISI MATEMATICA L A	M, T, E	BO	OBRECHT ENRICO	219
ANALISI MATEMATICA L A	L, I (F-Z)	BO	ANCONA FABIO	220
ANALISI MATEMATICA L - A	dud	CE	CAPPUCCIO SEBASTIANO	215
ANALISI MATEMATICA L B	R,Q	BO	CITTI GIOVANNA	226
ANALISI MATEMATICA L B	I(A-E), A	BO	ARCOZZI NICOLA	222
ANALISI MATEMATICA L B	C, N	BO	PAPINI PIER LUIGI	228
ANALISI MATEMATICA L B	G_BO, P	BO	DORE GIOVANNI	225
ANALISI MATEMATICA L B	M, T, E	BO	OBRECHT ENRICO	227
ANALISI MATEMATICA L B	I(G-Z)	BO	ANCONA FABIO	223
ANALISI MATEMATICA L B	L	BO	MATARASSO SILVANO	228

Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
ANALISI MATEMATICA L - B	dud	CE	PONTINI COSTANTE	227
ANALISI MATEMATICA L C	L, I	BO	MATARASSO SILVANO	230
ANALISI MATEMATICA L C	T, E	BO	BAROZZI GIULIO CESARE	229
ANALISI MATEMATICA L D	T	BO	BAROZZI GIULIO CESARE	231
ANALISI MATEMATICA L D	L, I	BO	MATARASSO SILVANO	231
ANALISI MATEMATICA LS	L	BO	MATARASSO SILVANO	232
ANALISI NUMERICA	T, L	BO	SGALLARI FIORELLA	233
ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI	M, L	BO	FREDDI ALESSANDRO	234
ANALISI STRUMENTALE E CONTROLLO DEI MATERIALI	R	BO	TIMELLINI GIORGIO	235
ANTENNE LA	T	BO	MASOTTI DIEGO	236
ARCHITETTURA DEI SISTEMI INTEGRATI	T, L, I	BO	GUERRIERI ROBERTO	237
ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA I	D	BO	GELSOMINO LUISELLA	238
ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA II	D, C	BO	ZERBINI FRANCO	239
ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA III	D	BO	PRADERIO GIORGIO	240
ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA IV	D	BO	GIACOBACCI GABRIELE	242
ARCHITETTURA TECNICA I	D	BO	BAROZZI ANNA	244
ARCHITETTURA TECNICA II	D	BO	DELL'ACQUA ADOLFO CESARE	245
ARCHITETTURA TECNICA L	dud	CE	DEGLI ESPOSTI VITTORIO	243
ARTE MINERARIA	R	BO	BERRY PAOLO	247
ATTUATORI ELETTRICI L	E	BO	TANI ANGELO	248
AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE SANITARIA	L	BO	LAMBERTI CLAUDIO	248
AUTOMAZIONE INDUSTRIALE	E	BO	BASILE GIUSEPPE	250
AUTOMAZIONE INDUSTRIALE	G_BO, I	BO	AMANTI CARLO	249
AZIONAMENTI ELETTRICI	M	BO	PROFUMO FRANCESCO	252
AZIONAMENTI ELETTRICI	N, E, A	BO	CASADEI DOMENICO	254
BASI DI DATI L	P	BO	GRANDI FABIO	255
BIOCHIMICA INDUSTRIALE	R, Q	BO	FAVA FABIO	257
BIOINGEGNERIA II	L	BO	CAPPELLO ANGELO	258
BIOINGEGNERIA III	L	BO	CAVALCANTI SILVIO	259
BIOINGEGNERIA LS	L	BO	GNUDI GIANNI	261
BIOMECCANICA LS	L	BO	CAPPELLO ANGELO	258
CALCOLATORI ELETTRONICI L A	I	BO	NERI GIOVANNI	264
CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	C	BO	SGALLARI FIORELLA	264
CALCOLO NUMERICO LA	L, T, I	BO	SGALLARI FIORELLA	266
CAMPI ELETTROMAGNETICI L A	L, T	BO	LIPPARINI ALESSANDRO	267
CAMPI ELETTROMAGNETICI L B	T, L	BO	RIZZOLI VITTORIO	269
CANTIERI E PRODUZIONE EDILIZIA	dud	CE	BRAGADIN MARCO ALVISE	270
CARTOGRAFIA TEMATICA ED AUTOMATICA L	dud	CE	BARBARELLA MAURIZIO	271
CAVE E RECUPERO AMBIENTALE	R	BO	BERRY PAOLO	272
CAVE E RECUPERO AMBIENTALE	duamb	BO	FABBRI SANTE	273
CHIMICA - CHIMICA E MATERIALI L C.I.	M	BO	MUNARI ANDREA - COLOMBO PAOLO	275
CHIMICA APPLICATA L	Q	BO	SACCANI ANDREA	276
CHIMICA E TECNOLOGIA DEL RESTAURO E DELLA CONSERVAZIONE DEI MATERIALI	D	BO	SANDROLINI FRANCO- FRANZONI ELISA	277
CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI	L	BO	COLLE RENATO	278
CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI	N	BO	NOBILI DARIO	279
CHIMICA INDUSTRIALE	R, Q	BO	STRAMIGLIOLI CARLO	280

Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
CHIMICA L	C	BO	FIORINI MAURIZIO	274
CHIMICA L	dud	CE	BERTI CORRADO	282
CHIMICA ORGANICA L	Q	BO	MARCHETTI LEONARDO	283
CIRCUITI A MICROONDE E A ONDE MILLIMETRICHE	T	BO	LIPPARINI ALESSANDRO	284
CIRCUITI ELETTRONICI ANALOGICI L	T	BO	GRAFFI SERGIO	285
CIRCUITI ELETTRONICI ANALOGICI LA	L	BO	GNUDI ANTONIO	285
CIRCUITI ELETTRONICI DI POTENZA L	E	BO	GRANDI GABRIELE	286
CIRCUITI ELETTRONICI DIGITALI	T	BO	MASETTI GUIDO	286
COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA INDUSTRIALE	E, N	BO	REGGIANI UGO	287
COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA L COMPONENTI E TECNOLOGIE ELETTRICHE	N, E	BO	REGGIANI UGO	289
ELETTRICHE	E	BO	MONTANARI GIAN CARLO	291
COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA L				
COMUNICAZIONI ELETTRICHE	G_BO	BO	ZANELLA ALBERTO	294
COMUNICAZIONI ELETTRICHE L A	I	BO	CAINI CARLO	296
COMUNICAZIONI ELETTRICHE L A	T	BO	CALANDRINO LEONARDO	296
COMUNICAZIONI ELETTRICHE L A	L	BO	CHIANI MARCO	296
COMUNICAZIONI ELETTRICHE L B	T	BO	CALANDRINO LEONARDO	298
COMUNICAZIONI ELETTRICHE L B	L	BO	DARDARI DAVIDE	298
CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI	R,C	BO	GOTTARDI GUIDO	300
CONSOLIDAMENTO DEGLI EDIFICI L	dud	CE	RICCI BITTI GIOVANNI	299
CONTROLLI AUTOMATICI	M	BO	PENATI MARIA ELISABETTA	300
CONTROLLI AUTOMATICI	G_BO	BO	SOVERINI UMBERTO	302
CONTROLLI AUTOMATICI II	I	BO	MARRO GIOVANNI	306
CONTROLLI AUTOMATICI II	N	BO	PENATI MARIA ELISABETTA	307
CONTROLLI AUTOMATICI L	M	BO	BERTONI GIANNI	301
CONTROLLI AUTOMATICI L A	L	BO	ZATTONI ELENA	303
CONTROLLI AUTOMATICI L A	I, A	BO	TONIELLI ALBERTO	310
CONTROLLI AUTOMATICI L B	I, U	BO	TONIELLI ALBERTO	310
CONTROLLI AUTOMATICI LS	E	BO	ZATTONI ELENA	305
CONTROLLO DEI PROCESSI	G_BO, L, I, A	BO	BONIVENTO CLAUDIO	313
COSTRUZIONE DI MACCHINE	M	BO	MOLARI PIER GABRIELE	317
COSTRUZIONE DI MACCHINE	G_BO	BO	CCROCCO DARIO	318
COSTRUZIONE DI MACCHINE	N	BO	CURIONI SERGIO	316
COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE E ROBOT	M	BO	VASSURA GABRIELE	320
COSTRUZIONE DI MACCHINE II	M	BO	CESARI FRANCESCO	319
COSTRUZIONI DI MACCHINE PER L'INGEGNERIA CHIMICA L	Q	BO	DAL RE VINCENZO	322
COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI	R,C,D	BO	BUCCHI ALBERTO	323
COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI II	C	BO	DONDI GIULIO	324
COSTRUZIONI IDRAULICHE	R, C	BO		327
COSTRUZIONI IDRAULICHE URBANE C.I.	D	BO	MAGLIONICO MARCO	
			DI FEDERICO VITTORIO	328
COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA	D,C	BO	DIOTALLEVI PIER PAOLO	329
COSTRUZIONI MARITTIME	C,R	BO	LAMBERTI ALBERTO	330
DINAMICA DEI SISTEMI NON LINEARI E ALEATORI LS	L	BO	MURACCHINI AUGUSTO	333
DINAMICA DELLE MACCHINE LS	E	BO	MAGGIORE ALBERTO	335
DINAMICA DELLE STRUTTURE	D,C	BO	VIOLA ERASMO	339
DINAMICA E CONTROLLO DEI PROCESSI CHIMICI	Q	BO	PASQUALI GABRIELE	341
DINAMICA E CONTROLLO DELLE MACCHINE	M	BO	MORO DAVIDE	342
DIRITTO DELL'AMBIENTE	R	BO	BORTOLOTTI DARIO	344
DIRITTO URBANISTICO L	dud	CE	CORINALDESI ANDREA	343



Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
DISEGNO ASSISTITO DAL CALCOLATORE L	N	BO	CALIGIANA GIANNI	346
DISEGNO AUTOMATICO L	dud	CE	CINTI LUCIANI STEFANO	348
DISEGNO DELL'ARCHITETTURA I	D	BO	APOLLONIO FABRIZIO IVAN	349
DISEGNO DELL'ARCHITETTURA L	dud	CE	BARTOLOMEI CRISTIANA	351
DISEGNO DI MACCHINE	M	BO	PERSIANI FRANCO	352
DISEGNO L	C	BO	MARINONI OTTORINO	354
DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE L	M (A-K)	BO	CALIGIANA GIANNI	357
DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE L	M (L-Z)	BO	LIVERANI ALFREDO	358
DISEGNO TECNICO L	R	BO	LIVERANI ALFREDO	360
ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE	T,L,I	BO	PETRONI ALBERTO	362
ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE L A	I, A, L	BO	MUNARI FEDERICO	363
ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE L A	G_BO, P	BO	GRANDI ALESSANDRO, TAGLIAVENTI MARIA RITA	365
ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE L B	G_BO, P	BO	GRANDI ALESSANDRO TAGLIAVENTI MARIA RITA	367
ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE L	M, N	BO	ORIANI RAFFAELE	369
ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE L	Q, R	BO	LONGO MARIOLINA	371
ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE	M, N, duamb	BO	ZANONI ANDREA	373
ELABORAZIONE DI DATI E SEGNALI BIOMEDICI	L	BO	URSINO MAURO	374
ELABORAZIONE OTTICA DEI SEGNALI	T,L	BO	BASSI PAOLO, TARTARINI GIOVANNI	377
ELEMENTI DELLE MACCHINE L	M	BO	MOLARI PIER GABRIELE	379
ELEMENTI DI ARCHITETTURA TECNICA L	dud	CE	BARTOLI BARBARA	379
ELEMENTI DI CHIMICA ORGANICA E BIOCHIMICA L	R	BO	MARCHETTI LEONARDO	380
ELEMENTI DI CONTROLLI AUTOMATICI L	E	BO	PENATI MARIA ELISABETTA	381
ELEMENTI DI FOTOGRAMMETRIA L	dud	CE	ZANUTTA ANTONIO	383
ELEMENTI DI GEOTECNICA L	dud	CE	GOTTARDI GUIDO	384
ELEMENTI DI PROGETTAZIONE EDILE L	dud	CE	BETTINI PAOLO	385
ELEMENTI DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI L	dud	CE	PASCALE GIOVANNI	386
ELEMENTI DI TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA L	dud	CE	BIOLCATI RINALDI MAURIZIO	387
ELETTROMAGNETISMO APPLICATO LS	E	BO	REGGIANI UGO	388
ELETTRONICA APPLICATA I	G_BO,M,N	BO	RUDAN MASSIMO	390
ELETTRONICA APPLICATA II	T,L,I	BO	RICCÒ BRUNO, BENINI LUCA	391
ELETTRONICA APPLICATA II	G_BO,M,N	BO	REGGIANI SUSANNA	392
ELETTRONICA APPLICATA LS	L	BO	GRAFFI SERGIO	392
ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI LS	L, I, T	BO	BACCARANI GIORGIO	393
ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI	T, L	BO	SANTARELLI ALBERTO	395
ELETTRONICA DELLO STATO SOLIDO	T, L	BO	RUDAN MASSIMO	396
ELETTRONICA INDUSTRIALE	T,E,L,I	BO	FILICORI FABIO	397
ELETTRONICA L A	I, A	BO	LANZONI MASSIMO	398
ELETTROTECNICA	C	BO	FILIPPETTI FIORENZO	400
ELETTROTECNICA	R	BO	RIBANI PIER LUIGI	403
ELETTROTECNICA	N	BO	NEGRINI FRANCESCO	401

Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
ELETTROTECNICA	M	BO	SACCHETTI RAFFAELLO	405
ELETTROTECNICA L	N	BO	FABBRI MASSIMO	412
ELETTROTECNICA	Q	BO	NEGRINI FRANCESCO	403
ELETTROTECNICA II	R,C	BO	RIBANI PIER LUIGI	407
ELETTROTECNICA L	R	BO	RIBANI PIER LUIGI	407
ELETTROTECNICA L	G_BO, P	BO	NEGRINI FRANCESCO	406
ELETTROTECNICA L	E	BO	BORGHI CARLO ANGELO GHIGI PAOLO RAFFAELE	408
ELETTROTECNICA L A	I(A-F), A	BO	FILIPPETTI FIORENZO	411
ELETTROTECNICA L A	I(G-Z)	BO	MARTELLI MARIA	411
ELETTROTECNICA L B	L, T	BO	MARTELLI MARIA	412
ENERGETICA E SISTEMI NUCLEARI	N	BO	SCARDOVELLI RUBEN	413
ESTIMO	D	BO	PONGILUPPI GUIDO	414
FISICA GENERALE II	D	BO	GANDOLFI ALESSANDRO	416
FISICA GENERALE L A	G_BO (L-Z), P (L-Z)	BO	BRUNO MAURO	419
FISICA GENERALE L A	G_BO (A-K), P (A-K)	BO	BERTIN ANTONIO	420
FISICA GENERALE L A	T, E	BO	SEMPRINI CESARI NICOLA	423
FISICA GENERALE L A	L	BO	UGUZZONI ARNALDO	425
FISICA GENERALE L A	I(A-F), A	BO	VANNINI GIANNI	421
FISICA GENERALE L A	R,Q	BO	ZOCCOLI ANTONIO	418
FISICA GENERALE L A	M	BO	VITALE ANTONIO	422
FISICA GENERALE L A	I(G-Z)	BO	VERONDINI ETTORE	424
FISICA GENERALE L B	G_BO (A-K), P (A-K)	BO	BERTIN ANTONIO	432
FISICA GENERALE L B	L	BO	MASSA IGNAZIO	426
FISICA GENERALE L B	T	BO	SEMPRINI CESARI NICOLA	430
FISICA GENERALE L B	I(A-F), A	BO	VANNINI GIANNI	428
FISICA GENERALE L B	I(G-Z)	BO	VERONDINI ETTORE	431
FISICA GENERALE L B	Q, R	BO	ZOCCOLI ANTONIO	427
FISICA GENERALE L B	M	BO	VITALE ANTONIO	429
FISICA GENERALE L C	T	BO	MALAGUTI FRANCO	433
FISICA GENERALE L C	L, I	BO	MASSA IGNAZIO	434
FISICA GENERALE L D	T, L, I	BO	UGUZZONI ARNALDO	434
FISICA GENERALE L	dud	CE	CAMBI GILIO	417
FISICA NUCLEARE	N	BO	FRATAMICO GIUSEPPE	435
FISICA TECNICA	M,	BO	SALVIGNI SANDRO	435
FISICA TECNICA	G_BO	BO	MORINI GIAN LUCA	436
FISICA TECNICA AMBIENTALE	R	BO	GARAI MASSIMO	437
FISICA TECNICA AMBIENTALE	D	BO	VACCARI ADRIANO	439
FISICA TECNICA AMBIENTALE L	R	BO	GARAI MASSIMO	438
FISICA TECNICA AMBIENTALE L	C	BO	COCCHI ALESSANDRO	440
FISICA TECNICA L	E	BO	BARLETTA ANTONIO	442
FISICA TECNICA L	M	BO	SALVIGNI SANDRO	441
FONDAMENTI DELL'INGEGNERIA DI PROCESSO L	N	BO	BANDINI SERENA	449
FONDAMENTI DELL'INGEGNERIA DI PROCESSO L	Q	BO	BANDINI SERENA	450
FONDAMENTI DI CHIMICA L	N	BO	MUNARI ANDREA	456
FONDAMENTI DI CHIMICA L	E	BO	TOSELLI MAURIZIO	451
FONDAMENTI DI CHIMICA L	R	BO	FIORINI MAURIZIO	453
FONDAMENTI DI CHIMICA L	Q	BO	BERTI CORRADO	451
FONDAMENTI DI CHIMICA L A	L, T, I	BO	DESALVO AGOSTINO	457
FONDAMENTI DI CHIMICA L B	L, T	BO	DESALVO AGOSTINO	458
FONDAMENTI DI INFORMATICA L	N	BO	COLOMBO VITTORIO	459
FONDAMENTI DI INFORMATICA L A	G_BO, P (L-Z)	BO	PENZO WILMA	465
FONDAMENTI DI INFORMATICA L A	G_BO, P (A-K)	BO	SCALAS MARIA RITA	462

Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
FONDAMENTI DI INFORMATICA L A	M	BO	FERNANDEZ JORGE EDUARDO	463
FONDAMENTI DI INFORMATICA L A	I (A-K)	BO	BELLA VISTA PAOLO, MELLO PAOLA	461
FONDAMENTI DI INFORMATICA L A	T	BO	MILANO MICHELA	460
FONDAMENTI DI INFORMATICA L B	G_BO, P (L-Z)	BO	PATELLA MARCO	467
FONDAMENTI DI INFORMATICA L B	I (A-K)	BO	DENTI ENRICO	466
FONDAMENTI DI INFORMATICA L B	T	BO	MONTANARI REBECCA	465
FONDAMENTI DI INFORMATICA L B	L, U	BO	LODOLO ENRICO	467
FONDAMENTI DI INFRASTRUTTURE VIARIE	C	BO	MARCHI GIANFRANCO	468
FONDAMENTI DI INGEGNERIA ELETTRICA L	Q	BO	FILIPPETTI FIORENZO	470
FONDAMENTI DI RICERCA OPERATIVA L	G_BO	BO	CAPRARA ALBERTO	469
FONDAMENTI DI RICERCA OPERATIVA L	P	BO	TOTH PAOLO	468
FONDAMENTI DI RICERCA OPERATIVA L A	T,L,I	BO	MARTELLO SILVANO	471
FONDAMENTI E APPLICAZIONI DI GEOMETRIA DESCRITTIVA L	dud	CE	ANSELMI FRANCO	472
FONDAMENTI E METODI DELLA PROGETTAZIONE INDUSTRIALE	Q	BO	DAL RE VINCENZO	473
FOTOGRAFIA	R,C	BO	BITELLI GABRIELE	474
FOTOGRAFIA L	dud	CE	BITELLI GABRIELE	475
GEOFISICA APPLICATA	R	BO	SANTARATO GIOVANNI	477
GEOLOGIA APPLICATA	dud	CE	CARLONI GIULIO CESARE	480
GEOLOGIA	R	BO	BONAGA GILBERTO	477
GEOLOGIA	C	BO	LANDUZZI ALBERTO	478
GEOLOGIA APPLICATA	R	BO	CARLONI GIULIO CESARE	479
GEOLOGIA L	C	BO	LANDUZZI ALBERTO	481
GEOMETRIA E ALGEBRA L	G_BO, P	BO	GIMIGLIANO ALESSANDRO	482
GEOMETRIA E ALGEBRA L	R, Q	BO	MULAZZANI MICHELE	483
GEOMETRIA E ALGEBRA L	C, N	BO	GUALANDRI LUCIANO	482
GEOMETRIA E ALGEBRA L A	I (G-Z)	BO	GILOTTI ANNA LUISA	485
GEOMETRIA E ALGEBRA L A	L	BO	FERRI MASSIMO	484
GEOMETRIA E ALGEBRA L B	T,L,I	BO	GILOTTI ANNA LUISA	487
GEOSTATISTICA APPLICATA	R	BO	BRUNO ROBERTO	488
GEOTECNICA	R,D, C	BO	RIGHI PIER VINCENZO	490
GEOTECNICA L	C	BO	GOTTARDI GUIDO	491
GEOTECNICA L	R	BO	GOTTARDI GUIDO	491
GESTIONE AZIENDALE	G_BO,I	BO	ZANONI ANDREA	492
GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE	R,C	BO	MONTANARI ALBERTO	495
GESTIONE DELL'ENERGIA	G_BO,M	BO	LORENZINI ENRICO	493
GESTIONE DELL'INNOVAZIONE E DEI PROGETTI	Q,G_BO	BO	SOBRERO MAURIZIO	494
GIACIMENTI MINERARI	R	BO	BRUNO ROBERTO	496
IDRAULICA AMBIENTALE	R	BO	DI FEDERICO VITTORIO	498
IDRAULICA L	C	BO	DI FEDERICO VITTORIO	498
IDRAULICA L B	R	BO	DI FEDERICO VITTORIO	499
IDROGEOLOGIA APPLICATA	R,C,Q	BO	CIANCABILLA FULVIO	500
IDROLOGIA	C	BO	TODINI EZIO	502
IDROLOGIA	R,C	BO	TODINI EZIO	501
IDROLOGIA II	C	BO	PILATI STEFANO	502
IMPIANTI BIOCHIMICI	Q	BO	GOSTOLI CARLO	504
IMPIANTI BIOCHIMICI AMBIENTALI	Q	BO	NOCENTINI MASSIMO	505
IMPIANTI CHIMICI I	Q	BO	COZZANI VALERIO	505
IMPIANTI CHIMICI II	Q	BO	CAMERA RODA GIOVANNI	506
IMPIANTI DELL'INDUSTRIA ALIMENTARE	Q	BO	CAMERA RODA GIOVANNI	508

Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
IMPIANTI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA	E	BO	BORGHETTI ALBERTO	509
IMPIANTI ELETTRICI "G_BO"	G_BO,E	BO	PATTINI GIANNI	511
IMPIANTI INDUSTRIALI	G_BO,M	BO	FERRARI EMILIO	512
IMPIANTI INDUSTRIALI L A	G_BO	BO	REGATTIERI ALBERTO	513
IMPIANTI INDUSTRIALI L B	G_BO	BO	REGATTIERI ALBERTO	514
IMPIANTI MECCANICI	M	BO	PARESCHI ARRIGO	516
IMPIANTI MINERARI	R	BO	FABBRI SANTE	517
IMPIANTI NUCLEARI	N	BO	SOBRERO ENRICO	518
IMPIANTI SPECIALI	M	BO	GENTILINI MARCO	519
IMPIANTI SPECIALI IDRAULICI	C	BO	BIZZARRI ALBERTO	520
IMPIANTI TECNICI	D,C	BO	COCCHI ALESSANDRO	520
IMPIANTI TECNICI L	dud	CE	SEMPRINI GIOVANNI	521
INFORMATICA GENERALE L	Q, R	BO	TESI FRANCA	522
INFORMATICA GRAFICA	D (L-Z),	BO	BERGAMINI STEFANO	523
INFORMATICA GRAFICA	D (A-K)	BO	TESI FRANCA	524
INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE	Q	BO	GATTA ALCEO	525
INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE	R	BO	PASQUALI GABRIELE	526
INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE II	duamb	BO	GATTA ALCEO	527
INGEGNERIA CLINICA L A	L	BO	LAMBERTI CLAUDIO	528
INGEGNERIA DEGLI ACQUIFERI	duamb	BO	GOTTARDI GUIDO	529
INGEGNERIA DEGLI SCAVI	R	BO	FABBRI SANTE	530
INGEGNERIA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI	R	BO	GOTTARDI GUIDO	531
INGEGNERIA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI	duamb	BO	MACINI PAOLO	532
INGEGNERIA DEL SOFTWARE C.I.	I	BO	NATALI ANTONIO, FALDELLA EUGENIO	533
INGEGNERIA DEL SOFTWARE L A	I	BO	BELLAVIA GIUSEPPE	536
INGEGNERIA DEL TERRITORIO	R,C	BO	SALIZZONI GIOVANNI	537
INGEGNERIA DELLE MATERIE PRIME	R,G_BO,M	BO	CIANCABILLA FULVIO	538
INGEGNERIA DELLE MATERIE PRIME	duamb	BO	BONOLI ALESSANDRA	539
INGEGNERIA E TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO	L, I	BO	ROSSI CARLO	540
INGEGNERIA E TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO LA	I	BO	TILLI ANDREA	542
INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE	R,C	BO	MANCINI MAURIZIO	543
INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE II	R	BO	BRAGADIN GIANNI LUIGI	544
INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE	duamb	BO	BONOLI ALESSANDRA	543
INTELLIGENZA ARTIFICIALE	L,I	BO	MELLO PAOLA	545
INTERAZIONE FRA LE MACCHINE E L'AMBIENTE	R,G_BO,M	BO	PERETTO ANTONIO	546
LABORATORIO DI ANALISI NUMERICA	M	BO	SGALLARI FIORELLA	547
LABORATORIO DI AUTOMAZIONE L-A	I	BO	TILLI ANDREA	549
LABORATORIO DI CALCOLO NUMERICO	Q	BO	SGALLARI FIORELLA	548
LABORATORIO DI CHIMICA	Q	BO	BERTI CORRADO	549
LABORATORIO DI ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI LS	L	BO	FRANCHI SCARSELLI ELEONORA	552
LABORATORIO DI ELETTRONICA LA	L	BO		553
LABORATORIO DI INFORMATICA L A	I, T	BO	LODOLO ENRICO	553
LABORATORIO DI INFORMATICA L B	I	BO	BELLAVIA GIUSEPPE	554
LABORATORIO DI RICERCA OPERATIVA LA	I, T, L	BO		555
LABORATORIO DI TELECOMUNICAZIONI L A	T, L	BO	PASOLINI GIANNI	557

Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
LABORATORIO DI TELECOMUNICAZIONI L B	T	BO	CONTI ANDREA	557
LABORATORIO PROGETTUALE DI ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA I	D (A-K)	BO	BALLANDI ROBERTO, ANSALONI EUGENIO	558
LABORATORIO PROGETTUALE DI TECNOLOGIE EDILIZIE	D	BO	FRANZONI ELISA, BRAGADIN MARCO ALVISE	560
LEGISLAZIONE DELLE OPERE PUBBLICHE E DELL'EDILIZIA L	dud	CE	PANZERA MARIA PIA	564
LEGISLAZIONE DELLE OPERE PUBBLICHE E DELL'EDILIZIA	C,G_BO	BO	COCCHI ALESSANDRO	561
LEGISLAZIONE DELLE OPERE PUBBLICHE E DELL'EDILIZIA E DIRITTO URBANISTICO E SOCIOLOGIA C.I.	D	BO	PANZERA MARIA PIA	563
LEGISLAZIONE DELLE OPERE PUBBLICHE L	C	BO	COCCHI ALESSANDRO	562
LINGUAGGI E MODELLI COMPUTAZIONALI LS	I	BO	DENTI ENRICO	565
LINGUAGGI E TRADUTTORI C.I.	L,I	BO	NATALI ANTONIO, DENTI ENRICO	565
LOCALIZZAZIONE DEI SISTEMI ENERGETICI II	N	BO	VESTRUCCI PAOLO	566
LOGISTICA INDUSTRIALE	Q,G_BO,M	BO	PARESCHI ARRIGO	567
MACCHINE	R	BO	NALDI GIOVANNI	570
MACCHINE	C,G_BO	BO	CANTORE GIUSEPPE	572
MACCHINE	Q	BO	PELLONI PIERO	572
MACCHINE	duamb	BO	NALDI GIOVANNI	574
MACCHINE ELETTRICHE L	E	BO	SERRA GIOVANNI	576
MACCHINE I	M	BO	PELLONI PIERO	577
MACCHINE II	M	BO	MINELLI GIORGIO	579
MACCHINE II	C	BO	NALDI GIOVANNI	580
MACCHINE L	E	BO	PERETTO ANTONIO	583
MACCHINE L	G_BO	BO	PERETTO ANTONIO	584
MACCHINE UTENSILI	M	BO	TOMESANI LUCA	587
MAGNETOFLUIDODINAMICA APPLICATA	N,E	BO	BORGHI CARLO ANGELO	588
MARKETING INDUSTRIALE L	P	BO	PITTLINO CLAUDIO	590
MATEMATICA APPLICATA L	G_BO, P	BO	BOSELLO CARLO ALBERTO, NIBBI ROBERTA	591
MATEMATICA APPLICATA L A	L	BO	ABBATI MARESCOTTI PIER PAOLO	592
MATEMATICA APPLICATA L A	T	BO	MURACCHINI AUGUSTO	593
MATEMATICA APPLICATA L A	I	BO	LAZZARI BARBARA	594
MATERIALI POLIMERICI	Q	BO	SACCANI ANDREA	597
MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	N,M	BO	MENEGHETTI UMBERTO	599
MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	G_BO, I	BO	DALPIAZ GIORGIO	600
MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	duamb	BO	MAGGIORE ALBERTO	602
MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE L	G_BO	BO	RUBINI RICCARDO	601
MECCANICA APPLICATA L	N	BO	MAGGIORE ALBERTO	597
MECCANICA COMPUTAZIONALE DELLE STRUTTURE	D,C	BO	UBERTINI FRANCESCO	605
MECCANICA DEI FLUIDI	M	BO	LAMBERTI ALBERTO	607
MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO L	R	BO	MACINI PAOLO	609

Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO	R,Q	BO	BRIGHENTI GIOVANNI	610
MECCANICA DEI MATERIALI L	E	BO	SCIORTINO LINO	611
MECCANICA DEI ROBOT	M	BO	PARENTI CASTELLI VINCENZO	613
MECCANICA DEI SOLIDI E COMPORTAMENTO MECCANICO DEI MATERIALI L C.I.	N	BO	PASCALE GUIDOTTI GIOVANNI, MINAK GIANGIACOMO	617
MECCANICA DEI SOLIDI L	Q	BO	PASCALE GIOVANNI	615
MECCANICA DELLE MACCHINE L	M	BO	MENEGHETTI UMBERTO	619
MECCANICA DELLE MACCHINE L	E	BO	CATANIA GIUSEPPE	614
MECCANICA DELLE ROCCE	R,C	BO	PARETINI AMOS	620
MECCANICA DELLE ROCCE L	R	BO	PARETINI AMOS	622
MECCANICA DELLE VIBRAZIONI	M	BO	CATANIA GIUSEPPE RIVOLA ALESSANDRO MENEGHETTI UMBERTO	622
MECCANICA RAZIONALE	TUTTI	BO	FABRIZIO MAURO	625
MECCANICA RAZIONALE	D	BO	RUGGERI TOMMASO	626
MECCANICA RAZIONALE L	E, N, A	BO	ABBATI MARESCOTTI PIER PAOLO	629
MECCANICA RAZIONALE L	M	BO	LAZZARI BARBARA	628
MECCANICA RAZIONALE L	C	BO	RUGGERI TOMMASO	630
METODI E MODELLI PER IL SUPPORTO ALLE DECISIONI	G_BO,I	BO	CAPRARA ALBERTO	635
METODI MATEMATICI PER I REATTORI NUCLEARI	N	BO	TROMBETTI TULLIO	636
METODI NUMERICI PER I REATTORI NUCLEARI	N	BO	COLOMBO VITTORIO	637
METODI NUMERICI PER LA GRAFICA LS	L	BO	MORIGI SERENA	640
METODI NUMERICI PER L'INGEGNERIA LS	L, I, T	BO	SGALLARI FIORELLA	640
METODOLOGIE DI PROGETTAZIONE DELLE MACCHINE ELETTRICHE	E	BO	GRANDE ANTONINO	640
MICROBIOLOGIA AMBIENTALE	Q	BO	FAVA FABIO	641
MICROELETTRONICA	T,L	BO	RUDAN MASSIMO	642
MICROONDE	T	BO	COSTANZO ALESSANDRA	644
MINERALOGIA E LITOLOGIA	R	BO	DELMONTE MARCO	645
MISURE E COLLAUDO DI MACCHINE ED IMPIANTI ELETTRICI	E	BO		646
MISURE E CONTROLLI NEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI	R	BO	MESINI EZIO	647
MISURE ELETTRICHE	E	BO	BURCHIANI ALBERTO	648
MISURE ELETTRONICHE L A	T (L-Z), L(L-Z)	BO	MIRRI DOMENICO	650
MISURE ELETTRONICHE L A	T (A-K), L (A-K)	BO	RINALDI MARIO	649
MISURE MECCANICHE, TERMICHE E COLLAUDI L	M	BO	PELLONI PIERO	652
MODELLISTICA DEI SISTEMI ELETTROMECCANICI	E	BO	TANI ANGELO	655
MODELLISTICA E CONTROLLO DEI SISTEMI AMBIENTALI	R	BO	GUIDORZI ROBERTO	656
MODELLISTICA E INGEGNERIA DEI MATERIALI ELETTRICI	E	BO	SIMONI LUCIANO	657
MODELLISTICA IDRAULICA	C	BO	BRAGADIN GIANNI LUIGI	658
MOTO DEI FLUIDI E TERMOCINETICA L	N	BO	ZANCHINI ENZO	658
ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE	D, C	BO	COMANI CLAUDIO	660

Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE	D	BO	BRAGADIN MARCO ALVISE	662
ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE E DEI SISTEMI LOGISTICI	G_BO,M,I	BO	SOBRERO ENRICO	664
ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE E DEI SISTEMI LOGISTICI L	G_BO, P	BO	MARINI MAURO	666
OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA	T,L,I	BO	TOTH PAOLO	667
PIANIFICAZIONE DEI TRASPORTI	C,G_BO	BO	RUPI FEDERICO	668
PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE	R,Q,G_BO	BO	SANTARELLI FRANCESCO	670
PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA I	Q	BO	SANTARELLI FRANCESCO	671
PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II	Q	BO	DOGHIERI FERRUCCIO	673
PRINCIPI E METODOLOGIE DELLA PROGETTAZIONE MECCANICA	M,N	BO	FREDDI ALESSANDRO BARTOLOZZI GIORGIO	675
PROCESSI BIOTECNOLOGICI AMBIENTALI	R	BO	GOSTOLI CARLO	676
PRODUZIONE E TRASPORTO DEGLI IDROCARBURI	R	BO	GOTTARDI GUIDO	677
PRODUZIONE E TRASPORTO DEGLI IDROCARBURI	duamb	BO	MESINI EZIO	678
PROGETTAZIONE INTEGRALE L	CE	CE	MINGOZZI ANGELO	679
PROGETTI E COSTRUZIONI NUCLEARI	dud	BO	CESARI FRANCO	682
PROGETTO DI CIRCUITI ANALOGICI LA	L	BO	MASETTI GUIDO	684
PROGETTO DI CIRCUITI ANALOGICI LS	L	BO	GNUDI ANTONIO	685
PROPAGAZIONE L A	T	BO	BASSI PAOLO	687
PROPRIETÀ TERMODINAMICHE E DI TRASPORTO	Q,L	BO	DOGHIERI FERRUCCIO	688
PROTEZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO	R,C	BO	BRATH ARMANDO	690
QUALITÀ DELL'ENERGIA ELETTRICA L	E	BO	CAVALLINI ANDREA	691
REATTORI NUCLEARI AVANZATI	N	BO	PREMUDA FRANCESCO	692
RECUPERO E CONSERVAZIONE DEGLI EDIFICI L	dud	CE	GALLI CLAUDIO	693
RETI DI CALCOLATORI	T,L,I	BO	CORRADI ANTONIO	695
RETI DI CALCOLATORI L A	I	BO	CORRADI ANTONIO	697
RETI DI TELECOMUNICAZIONI L A	T, I	BO	CORAZZA GIORGIO	699
RETI DI TELECOMUNICAZIONI LS	T	BO	CORAZZA GIORGIO	700
RETI LOGICHE L A	I,A,T	BO	DI STEFANO LUIGI, LASCHI ROBERTO, PRANDINI MARCO	703
RICERCA OPERATIVA A e B	G_BO	BO	TOTH PAOLO, VIGO DANIELE	704
RICERCA OPERATIVA LS	I	BO	MARTELLO SILVANO	707
RILIEVO DELL'ARCHITETTURA	D	BO	MINGUCCI ROBERTO	709
RILIEVO DELL'ARCHITETTURA L	dud	CE	CIPRIANI LUCA	709
ROBOTICA INDUSTRIALE	L,I	BO	MELCHIORRI CLAUDIO	710
SCIENZA DEI MATERIALI	Q,G_BO,M	BO	SANDROLINI FRANCO	711
SCIENZA DEI METALLI	Q,M	BO	POLI GIORGIO	712
SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	D	BO	VIOLA ERASMO	713
SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	G_BO	BO	CUSTODI ALBERTO	714
SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	M	BO	UBERTINI FRANCESCO	715
SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	Q, N, R	BO	DI LEO ANTONIO	716
SCIENZA DELLE COSTRUZIONI II	D,C	BO	D'ANNA EUGENIO	720
SCIENZA DELLE COSTRUZIONI L	R	BO	DI LEO ANTONIO	717
SCIENZA DELLE COSTRUZIONI L	dud	CE	PASCALE GIOVANNI	718
SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI CERAMICI	Q	BO	PALMONARI CARLO	721
SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI ELETTRICI	E	BO	MOTORI ANTONIO	723
SENSORI E TRASDUTTORI	T,E,L,I	BO	PASINI GAETANO	724
SERVIZI GENERALI DI IMPIANTO	G_BO,M	BO	FERRARI EMILIO	725

Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
SICUREZZA DEL LAVORO E DIFESA AMBIENTALE L	R	BO	BERRY PAOLO	728
SICUREZZA E ANALISI DI RISCHIO	G_BO,N	BO	ORLANDELLI CARLO MARIA	729
SISTEMI D'ANTENNA LS	L, I, T	BO	RIZZOLI VITTORIO	729
SISTEMI DI CONTROLLO DI GESTIONE	G_BO	BO	ORIANI RAFFAELE	730
SISTEMI DI TRAZIONE	C,M	BO	MICUCCI ALFONSO	736
SISTEMI DIGITALI LS	I	BO	FALDELLA EUGENIO	734
SISTEMI ELETTRICI PER L'ENERGIA	E	BO	NUCCI CARLO ALBERTO	737
SISTEMI INFORMATIVI	G_BO	BO	GRANDI FABIO	740
SISTEMI INFORMATIVI II	I, G_BO	BO	CIACCIA PAOLO	741
SISTEMI INFORMATIVI L A	I	BO	CIACCIA PAOLO	742
SISTEMI INFORMATIVI L B	I	BO	CIACCIA PAOLO	743
SISTEMI ORGANIZZATIVI	G_BO	BO	GRANDI ALESSANDRO	745
SPERIMENTAZIONE DEI MATERIALI, DEI MODELLI E DELLE STRUTTURE STATICA L	D,C dud	BO CE	DI LEO ANTONIO PASCALE GUIDOTTI	745 747
STORIA DELL'ARCHITETTURA II	D,C	BO	PEDRAZZINI ALBERTO	748
STORIA DELL'ARCHITETTURA L	dud	CE	CASSARÀ SILVIO	750
STORIA DELLE TECNICHE ARCHITETTONICHE L	dud	CE	CASSARÀ SILVIO	751
STRUMENTAZIONE BIOMEDICA	L	BO	AVANZOLINI GUIDO	752
STRUMENTAZIONE E AUTOMAZIONE INDUSTRIALE	G_BO,M	BO	SACCANI CESARE	754
STRUMENTAZIONE E MISURE ELETTRONICHE	T,L	BO	SELMI LUCA	754
STRUMENTAZIONE E MISURE PER L'INQUINAMENTO L	R	BO	MARCHETTI LEONARDO	757
STRUMENTAZIONE ELETTRONICA DI MISURA LS	E	BO	MIRRI DOMENICO	756
STRUMENTAZIONE INDUSTRIALE CHIMICA	duamb	BO	MARCHETTI LEONARDO	757
STRUTTURE DI FONDAZIONE (SEMESTRALE)	R,C	BO	BENEDETTI ANDREA	758
STRUTTURE SPECIALI	C	BO	BENEDETTI ANDREA	760
STUDI DI FABBRICAZIONE	M	BO	TOMESANI LUCA	761
TECNICA DEI LAVORI IDRAULICI	C	BO	ARTINA SANDRO	762
TECNICA DEI LAVORI STRADALI, FERROVIARI ED AEROPORTUALI	C	BO	SIMONE ANDREA	763
TECNICA DEI SONDAGGI	R	BO	BRIGHTENI GIOVANNI	764
TECNICA DEL CONTROLLO AMBIENTALE	G_BO	BO	TARABUSI VALERIO	765
TECNICA DELLA SICUREZZA AMBIENTALE	R	BO	SPADONI GIGLIOLA	767
TECNICA DELLA SICUREZZA AMBIENTALE	duamb	BO	SPADONI GIGLIOLA	768
TECNICA DELLE ALTE TENSIONI	E	BO	MAZZANTI GIOVANNI	769
TECNICA DELLE COSTRUZIONI	C	BO	CECCOLI CLAUDIO	769
TECNICA DELLE COSTRUZIONI	D	BO	DIOTALLEVI PIER PAOLO	770
TECNICA DELLE COSTRUZIONI	R	BO	POLUZZI RAFFAELE	771
TECNICA DELLE COSTRUZIONI II	D,C	BO	SAVOIA MARCO	772
TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI	C,G_BO,M	BO	LUPI MARINO	775
TECNICA URBANISTICA	D	BO	CORLAITA ALBERTO	777
TECNICA URBANISTICA II	D,G_BO, R	BO	CROCIONI GIOVANNI	778
TECNICHE DI PRODUZIONE E DI CONSERVAZIONE DEI MATERIALI EDILIZI	D	BO	D'ALESIO MARCO	781



Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA	D	BO	SANDROLINI FRANCO	783
TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA L	C	BO	COLOMBO PAOLO	784
TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA L	dud	CE	BIGNOZZI MARIA	785
TECNOLOGIA DEI MATERIALI NUCLEARI	N	BO	MOSTACCI DOMIZIANO	785
TECNOLOGIA MECCANICA	M	BO	VESCHI DANIELE	787
TECNOLOGIE DI CHIMICA APPLICATA	M	BO	BIGNOZZI MARIA	794
TECNOLOGIE DI CHIMICA APPLICATA L	R	BO	TIMELLINI GIORGIO	795
TECNOLOGIE E APPLICAZIONI NUCLEARI	N	BO	CESARI FRANCO G.	797
TECNOLOGIE GENERALI DEI MATERIALI	G_BO,M	BO	VESCHI DANIELE	798
TECNOLOGIE PER LA SICUREZZA LS	I, L	BO	LASCHI ROBERTO	801
TECNOLOGIE WEB LA	I	BO	TARANTINO FABIO	802
TELECOMUNICAZIONI L A	P	BO	VERDONE ROBERTO	803
TELECOMUNICAZIONI L B	P	BO	VERDONE ROBERTO	804
TEORIA DELLO SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI	Q	BO	NOCENTINI MASSIMO	806
TEORIA E PROGETTO DEI PONTI	C	BO	MERLI MAURIZIO	807
TEORIA E PROGETTO DELLE COSTRUZIONI IN ACCIAIO	C	BO	MATILDI GIUSEPPE	808
TEORIA E TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE	C,M	BO	PRATTONI GIANNINO	809
TERMINALI E IMPIANTI DEI TRASPORTI	C	BO	FORESTI GIANCARLO	810
TERMODINAMICA APPLICATA L	N	BO	ZANCHINI ENZO	812
TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA	Q	BO	SARTI GIULIO CESARE	813
TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA L	Q	BO	BANDINI SERENA	815
TERMOTECNICA DEL REATTORE	N	BO	CESARI FRANCO G.	816
TOPOGRAFIA	R	BO	BARBARELLA MAURIZIO	817
TOPOGRAFIA	C	BO	ACHILLI VLADIMIRO	820
TOPOGRAFIA	duamb	BO	VITTUARI LUCA	821
TOPOGRAFIA E FOTOGRAMMETRIA	D	BO	LOMBARDINI GIUSEPPE	822
TOPOGRAFIA II	C	BO	UNGUENDOLI MARCO	824
TOPOGRAFIA L	R	BO	BARBARELLA MAURIZIO	819
TOPOGRAFIA LA + TOPOGRAFIA LB C.I.	C	BO	VITTUARI LUCA, BITELLI GABRIELE	825
TRASMISSIONE NUMERICA	T	BO	CORAZZA GIOVANNI	826
TRASMISSIONE NUMERICA L A	T	BO	EMANUELE CORAZZA GIOVANNI	828
TRASPORTO DI PARTICELLE E DI RADIAZIONE	N	BO	SCARDOVELLI RUBEN	830
TRATTAMENTO STATISTICO DEI DATI	R	BO	ZOCOLI ANTONIO	830
TURBOMACCHINE	M	BO	SPINA PIER RUGGERO	831
URBANISTICA	D (L-Z)	BO	MONTI CARLO	833

## SECONDA FACOLTÀ DI INGEGNERIA (con sede a Cesena)

### PRESENTAZIONE DEL PRESIDE

La seconda Facoltà di Ingegneria dell'Ateneo di Bologna è stata istituita recentemente per potenziare e valorizzare l'offerta didattica del settore nelle sedi della Romagna, e per dare un forte sviluppo alle attività di ricerca con l'incardinamento in loco di nuovi docenti. Essa nasce dunque per svolgere una attività sinergica e complementare a quella della Facoltà di Bologna da cui è gemmata.

L'organizzazione didattica della seconda Facoltà di Ingegneria è impostata su due livelli di laurea, in attuazione della recente riforma basata sulla formula 3+2, che nelle sedi romagnole è stata sperimentata già da alcuni anni.

Il primo livello comporta tre anni di corso, durante i quali si acquisiscono 180 Crediti Formativi Universitari (CFU). Esso porta all'acquisizione di una laurea che fornisce le basi metodologiche e culturali unitamente ad una formazione professionalizzante, già utilizzabile nel mondo del lavoro. A tale scopo è fondamentale il rapporto diretto degli studenti sia con le imprese, sia con enti e organismi vari, attraverso lo svolgimento di tirocini pratici e tesi di interesse applicativo. Tali attività sono regolate da convenzioni con diverse centinaia di aziende ed enti in sedi sia locali sia nazionali. Inoltre sono frequenti gli scambi con università estere, presso le quali molti studenti possono svolgere un segmento importante della propria carriera di studio.

Il secondo livello comporta due ulteriori anni di corso, con l'acquisizione di altri 120 CFU, e comporta l'acquisizione di una elevata specializzazione, con competenze volte allo sviluppo dell'innovazione e alle applicazioni più avanzate.

Anche nel secondo livello di studi sono previste attività di tirocinio e tesi presso aziende ed enti operanti nei settori di specializzazione e attività di studio presso università estere.

Dopo il conseguimento della laurea specialistica gli studenti potranno eventualmente proseguire gli studi: con i master di secondo livello (almeno 60 crediti), con scuole di specializzazione post-laurea specialistica, con il dottorato di ricerca (3 anni) finalizzato alla ricerca di base o applicata.

L'offerta didattica della seconda Facoltà si articola in settori di punta dell'ingegneria moderna: le quattro macro aree di studio sono Ingegneria Aerospaziale e Ingegneria Meccanica nella sede di Forlì, Ingegneria Biomedica e Ingegneria dei Sistemi e delle Tecnologie dell'Informazione a Cesena. Alle prime tre corrispondono altrettante lauree triennali e lauree specialistiche, mentre alla quarta corrispondono una omonima laurea specialistica e le tre lauree triennali in Ingegneria Elettronica, Ingegneria Informatica e Ingegneria delle Telecomunicazioni.

Nelle sedi della nuova Facoltà gli studenti possono trovare un ambiente favorevole, dove il la cura della qualità è un elemento fondamentale, che si concretizza nella disponibilità di ambienti e servizi didattici moderni, di laboratori avanzati (in alcuni casi unici nel panorama universitario nazionale) e di un rapporto diretto con il personale docente e tecnico. Raccomando di consultare il sito Internet della Facoltà, per poter avere ulteriori informazioni sia sull'offerta didattica, sia sugli aspetti tecnici e logistici delle numerose attività in cui gli studenti sono coinvolti.

*Cesena, novembre 2002*

Il Preside  
**Prof. Ing. Franco Persiani**

## SECONDA FACOLTÀ DI INGEGNERIA CON SEDE A CESENA

### INFORMAZIONI GENERALI

Facoltà di Ingegneria  
<http://www.ingce.unibo.it>

Presidente: **prof. ing. Franco Persiani**

#### Strutture generali:

- presidenza .....	tel. 0547 385037
.....	0543 374401
.....	fax 0547 638993
.....	0543 374477

#### SEDE DI FORLÌ

##### Sede didattica e segreteria

- Via Fontanelle, 40 - 47100 Forlì .....	tel. 0543 374401
.....	fax 0543 374477

##### Uffici Presidenza

Via Fontanelle, 40 - 47100 Forlì .....	tel. 0543 374417
.....	fax 0543 374477

##### Segreteria studenti

C.so A. Diaz, 45 - 47100 Forlì .....	tel. 0543 450208/ 450209
.....	fax 0543 26997

#### SEDE DI CESENA

##### Sede Centrale

Via Rasi e Spinelli 176 - 47023 Cesena  
 segreteria@ingce.unibo.it

.....	tel. 0547 614510
.....	fax 0547 614517

##### Sede Via Genova

Via Genova 181 - 47023 Cesena .....	tel. 0547 385037
.....	fax 0547 638993

**Sede Biomedica**

V.le Europa 980 - 47023 Cesena

segbio@ingce.unibo.it

tel. 0547 22880

fax 0547 22880

**CALENDARIO****SEDI DI CESENA E DI FORLÌ***Calendario delle lezioni*

	inizio	fine
I ciclo	30 settembre 2002	30 novembre 2002
II ciclo	9 gennaio 2003	12 marzo 2003
II ciclo	10 aprile 2003	14 giugno 2003

Vacanze pasquali: 17-22 aprile 2003

*Calendario esami di diploma e di laurea***SEDE di Cesena****AA. 2001/2002**

II sessione	15 ottobre 2002	19 dicembre 2002
III sessione	13 marzo 2003	

**AA. 2002/2003**

I sessione	26 giugno 2003	18 luglio 2003
II sessione	15 ottobre 2003	18 dicembre 2003
III sessione	18 marzo 2004	

**SEDE di Forlì****AA. 2001/2002**

III sessione	13 febbraio 2003	20 marzo 2003
--------------	------------------	---------------

**AA. 2002/2003**

I sessione	26 giugno 2003	17 luglio 2003
II sessione	23 ottobre 2003	11 dicembre 2003
III sessione	12 febbraio 2004	18 marzo 2004

*Calendario esami di profitto*

Per tutti gli esami dovranno essere fissati almeno 6 appelli, opportunamente distribuiti, in periodi liberi da lezioni;

- di questi almeno 2 devono essere fissati nel periodo immediatamente successivo la fine delle lezioni
- almeno 1 in ogni altro periodo non di lezioni

I periodi non di lezione distinti sono:

1. per i corsi distribuiti su 3 cicli:

- dicembre - gennaio
- marzo - aprile
- giugno - luglio
- settembre

2. per i corsi distribuiti su 2 cicli:

- gennaio - febbraio
- giugno - luglio
- settembre - ottobre

Per i corsi dei primi due anni delle Lauree Triennali, la Commissione Didattica ritiene che debba essere rispettato il principio della non sovrapposizione di lezioni ed esami; pertanto, per gli insegnamenti previsti in questi anni, non devono essere fissati appelli d'esame nei periodi di lezione.

## NUOVI ORDINAMENTI

### Sede di Cesena

#### *Corsi di laurea di I livello (triennali)*

Ingegneria Biomedica	classe 9
Ingegneria delle Telecomunicazioni	classe 9
Ingegneria Elettronica	classe 9
Ingegneria Informatica	classe 9

#### *Corso di laurea specialistica di II livello*

Ingegneria Biomedica	classe 26/S
Ingegneria dei Sistemi e delle Tecnologie dell'Informazione	classe 35/S

### Sede di Forlì

#### *Corsi di laurea di I livello (triennali)*

Ingegneria Aerospaziale	classe 10
Ingegneria Meccanica	classe 10

#### *Corsi di laurea specialistica di II livello*

Ingegneria Aerospaziale	classe 25/S
Ingegneria Meccanica	classe 36/S

## INFORMAZIONI GENERALI

### Riforma degli studi

La riforma universitaria cambia il sistema degli studi universitari italiano, secondo un modello concordato con gli altri paesi dell'Unione Europea.

Gli obiettivi della riforma sono:

- abbreviare i tempi di conseguimento del titolo di studio e ridurre gli abbandoni
- coniugare una preparazione metodologica-culturale, da sempre prerogativa della didattica universitaria, con una formazione professionalizzante
- creare un sistema di studi articolato su due livelli di laurea secondo la formula del 3+2
- facilitare la mobilità degli studenti a livello nazionale e internazionale attraverso l'introduzione del sistema dei crediti.

**La nuova organizzazione.** La nuova organizzazione degli studi universitari si articola in due livelli: al primo ci sono i corsi di laurea, che durano tre anni (180 crediti). Essi hanno l'obiettivo di assicurare allo studente un'adeguata padronanza di metodi e contenuti scientifici generali, nonché l'acquisizione di specifiche conoscenze professionali. Al termine dei corsi, infatti, si consegue un titolo già idoneo per l'accesso al lavoro. Dopo la laurea è anche possibile seguire master di primo livello (almeno 60 crediti) o scuole di specializzazione post-laurea.

Al secondo livello si collocano i corsi di laurea specialistica. Essi durano due anni e prevedono l'acquisizione di 120 crediti. Con la laurea specialistica si consegue un titolo che assicura una

formazione di livello avanzato per l'esercizio di attività di elevata qualificazione in ambiti specifici. Per essere ammessi ad un corso di laurea specialistica occorre essere in possesso della laurea di 1° livello.

**Classi.** Sono dei contenitori dei corsi di studio dello stesso livello: riuniscono corsi aventi uguali obiettivi qualificanti, gli stessi vincoli nazionali e identico valore legale. Il nome e il numero delle classi sono fissati da norme nazionali. Ogni università può istituire, all'interno di una classe, uno o più corsi cui stabilirà autonomamente i nomi e, in parte, i programmi (curricula o percorsi).

**Crediti formativi Universitari.** Il credito formativo universitario (CFU) misura la quantità di attività di studio che è richiesto allo studente. Un credito corrisponde a 25 ore di lavoro che comprendono lezioni, esercitazioni, etc., ma anche lo studio a casa. Per ogni anno accademico, ad uno studente impegnato a tempo pieno nello studio è richiesta una quantità media di lavoro fissata in 60 crediti, ossia 1500 ore. Tutte le discipline del corso di laurea sono quotate in crediti; i crediti si acquisiscono con il superamento degli esami o delle altre forme di verifica stabilite dai regolamenti dei corsi di studio. *I crediti non sostituiscono i voti, non valutano il profitto: la qualità dello studio continuerà ad essere valutata con il voto, espresso in trentesimi per l'esame o la prova di altro genere, ed in centodecimi per la prova finale, con eventuale lode.*

I crediti consentono di comparare diversi sistemi di studio e valutare i contenuti dei programmi tra diversi corsi e diversi sistemi di studio e valutare i contenuti dei programmi tra diversi corsi e diverse università italiane ed europee. Essi facilitano così la possibilità di trasferirsi da un corso di studio a un altro, oppure da un'università a un'altra, anche straniera. I crediti acquisiti durante un corso di studio vengono riconosciuti per il proseguimento in altri percorsi di studio. Ad esempio, i crediti acquisiti con Laurea possono essere riconosciuti, tutti o in parte a seconda della corrispondenza delle attività formative, per la continuazione degli studi con una Laurea Specialistica.

**Attività formative.** Il quadro delle attività formative dei nuovi curricula di studio si arricchisce. Oltre alla tradizionale preparazione universitaria, i nuovi corsi di studio forniranno conoscenze finalizzate a favorire concretamente l'integrazione europea e il raccordo con il mondo del lavoro.

A tal fine, ogni curriculum, a prescindere dal corso di studio al quale si è iscritti, prevederà un certo numero di crediti dedicato alla conoscenza obbligatoria di una seconda lingua dell'Unione Europea oltre l'italiano e conoscenze di tipo informatico, attività di tirocinio, stage.

Le attività formative che caratterizzano un corso di studio sono suddivise in diverse forme: didattica assistita (lezioni in aula, esercitazioni, seminari), studio individuale (studio di testi, elaborazione di relazioni, lavori di gruppo o individuali, attività di laboratorio, preparazione dell'esame), e attività svolte durante periodi di stage e tirocini.

**Prove e voti.** Per acquisire i CREDITI FORMATIVI assegnati alle ATTIVITÀ FORMATIVE è necessario il superamento da parte dello studente di una prova d'esame o di un'altra forma di verifica.

Le modalità della prova sono stabilite in modo autonomo da ogni singolo ateneo e vengono specificate nel Regolamento didattico del corso di studio: potranno consistere in prove scritte o orali, o giudizi di idoneità.

I crediti non sostituiscono il voto che continuerà ad essere espresso in trentesimi: 18 sarà la votazione minima, 30 quella massima con eventuale lode.

Il corso di Laurea si conclude con una prova finale.

## Immatricolazioni

L'iscrizione alla facoltà di Ingegneria prevede un test di orientamento comune per tutti i Corsi di Laurea.

## Test di orientamento

Il test d'orientamento, comune a tutti i corsi di laurea, si è tenuto alle ore 10:00 del 3 Settembre 2002.

La prova non ha carattere selettivo: il suo obiettivo è quello di offrire un primo strumento per saggiare le proprie potenzialità per affrontare gli studi di Ingegneria.

Per l'ammissione al test, il candidato ha dovuto versare, entro il 30 agosto 2002, un contributo di 41,31 € presso qualunque sportello della Rolo Banca 1473 o presso una filiale accreditata della Banca Popolare dell'Emilia Romagna (elenco disponibile su [www.unibo.it](http://www.unibo.it)).

Entro il termine del 16 Ottobre 2002 gli studenti hanno dovuto effettuare il pagamento della prima rata di tasse e consegnare la dovuta documentazione in segreteria.

Per maggiori dettagli, si veda l'apposito documento informativo; ulteriori informazioni relative all'iscrizione e alla facoltà possono essere richieste al seguente indirizzo e-mail: [info-point@mail.ing.unibo.it](mailto:info-point@mail.ing.unibo.it)

## Sbarramenti

### Progressione della carriera

L'acquisizione di almeno diciotto CFU relativi agli insegnamenti del primo anno di corso (tra questi, obbligatoriamente, sei CFU acquisiti tra gli insegnamenti di "Analisi matematica L-A" e "Geometria e Algebra L-A", e sei CFU acquisiti tra gli insegnamenti di "Fisica generale L-A" e "Fisica generale L-B") è necessaria, ai fini didattici, per il raggiungimento degli obiettivi professionalizzanti di tutti gli insegnamenti del secondo anno di corso. Qualora non abbia acquisito tali crediti entro la data fissata dal Regolamento studenti dell'Ateneo, lo Studente sarà iscritto come ripetente del primo anno di corso.

**In via transitoria, per l'a.a. 2002/2003, sarà ritenuta sufficiente l'acquisizione di almeno 18 crediti, senza alcuna distinzione di attività.**

## Requisiti per l'accesso alle lauree specialistiche

Per immatricolarsi alle Lauree Specialistiche attivate

INGEGNERIA DEI SISTEMI E DELLE TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE  
 INGEGNERIA BIOMEDICA  
 INGEGNERIA AEROSPAZIALE  
 INGEGNERIA MECCANICA

è necessario essere in possesso di una laurea (del vecchio ordinamento o triennale) che soddisfi i requisiti per l'accesso indicati di seguito.

Il titolo di laurea deve essere conseguito entro il 31 marzo 2003.

Le immatricolazioni, dopo la verifica dei requisiti d'accesso, devono essere fatte entro il 31 dicembre 2002. Le immatricolazioni degli studenti non ancora in possesso del titolo di laurea sono fatte sotto condizione del conseguimento del titolo nel termine indicato.

### INGEGNERIA BIOMEDICA

Per iscriversi alla Laurea Specialistica in Ingegneria Biomedica è necessario il possesso di almeno uno dei seguenti requisiti curriculari:



1) Laurea appartenente alla Classe 9 o alla Classe 10, conseguita presso una Università italiana

2) Laurea quinquennale in Ingegneria (Tabella XXIX), conseguita presso una Università italiana

3) Laurea o Laurea Specialistica, conseguita presso una Università italiana, e almeno 120 CFU acquisiti in un qualunque corso universitario nei settori scientifico-disciplinari appartenenti alle Aree 01, 02, 03, 05, 08 e 09 del D.M. 4/10/2000.

4) Titolo accademico finale conseguito all'estero dopo almeno 15 anni di scolarità.

#### INGEGNERIA DEI SISTEMI E DELLE TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE

Per iscriversi alla Laurea Specialistica in Ingegneria dei Sistemi e delle Tecnologie dell'Informazione è necessario il possesso di almeno uno dei seguenti requisiti curriculari:

1. Laurea appartenente alla Classe 9, conseguita presso una Università italiana

2. Laurea quinquennale in Ingegneria (Tabella XXIX), conseguita presso una Università italiana

3. Laurea o Laurea Specialistica, conseguita presso una Università italiana, e almeno 100 CFU acquisiti in un qualunque corso universitario nei settori scientifico-disciplinari specificati per la classe 9 dal D.M. sulla determinazione delle lauree universitarie, relativamente alle attività formative di base e caratterizzanti dei Corsi di Laurea dell'Ingegneria dell'Informazione.

4. Titolo accademico finale conseguito all'estero dopo almeno 15 anni di scolarità

#### INGEGNERIA AEROSPAZIALE

Per iscriversi alla Laurea Specialistica in Ingegneria Aerospaziale è necessario il possesso di almeno uno dei seguenti requisiti curriculari:

1. Laurea in Ingegneria Aerospaziale conseguita presso una Università italiana

2. Laurea in Ingegneria Meccanica conseguita presso una Università italiana

3. Laurea o Laurea Specialistica, conseguita presso una Università italiana, e almeno 100 CFU acquisiti in un qualunque corso universitario nei settori scientifico-disciplinari indicati fra le attività di base (A) o caratterizzanti (B) dal Regolamento Didattico della laurea in Ingegneria Aerospaziale dell'Università di Bologna;

4. Laurea quinquennale in Ingegneria (Tabella XXIX), conseguita presso una Università italiana;

5. Titolo accademico finale conseguito all'estero dopo almeno 15 anni di scolarità.

#### INGEGNERIA MECCANICA

Per iscriversi alla Laurea Specialistica in Ingegneria Meccanica - Sede di Forlì - è necessario il possesso di uno dei seguenti requisiti curriculari:

1. Laurea in Ingegneria Meccanica conseguita presso una Università italiana

2. Laurea in Ingegneria Aerospaziale conseguita presso una Università italiana

3. Laurea o Laurea Specialistica, conseguita presso una Università italiana, e almeno 100 CFU acquisiti in qualunque corso universitario nei Settori Scientifico-Disciplinari indicati fra le attività di base (a) o caratterizzanti (b) dal Regolamento Didattico della Laurea in Ingegneria Meccanica dell'Università di Bologna - Sede di Forlì.

4. Laurea quinquennale in Ingegneria (Tabella XXIX) conseguita presso una Università italiana

5. Titolo accademico finale conseguito all'estero dopo almeno 15 anni di scolarità.

#### Opzioni

Lo studente già iscritto ai corsi di laurea tradizionali potrà concludere gli studi secondo l'ordinamento di appartenenza oppure optare per i corsi di laurea riformati esercitando il diritto di

opzione entro il 31 ottobre 2002 e comunque entro 3 anni dall'attivazione dei nuovi ordinamenti.

In seguito all'opzione la carriera dello studente viene convertita in crediti in base alle tabelle di conversione approvate dai Consigli di corso di studio. Lo studente optante potrà sostenere gli esami del vecchio ordinamento fino al 31 ottobre 2002.

### **Svolgimento della carriera**

Fino al conseguimento del titolo accademico, lo studente deve iscriversi senza soluzione di continuità a tutti gli anni di corso previsti dal percorso scelto.

L'iscrizione ad anni di corso successivi al primo avviene con il pagamento della prima rata di tasse, mediante avviso di pagamento che include la domanda. Le relative informazioni sono trasmesse e registrate solo su supporto informatico.

– **ISCRIZIONE TARDIVA.** La principale novità consiste nel fatto che l'iscrizione tardiva (dopo il 31 dicembre) non influisce più sulla normale progressione di carriera. In altre parole, chi ha titolo per iscriversi in corso, lo fa anche se paga la prima rata di tasse dopo il 31 dicembre. **Attenzione!** Sarà, però, assoggettata al pagamento di una **ulteriore** indennità di mora di euro 178,17. Resta fermo il principio per cui non si possono sostenere esami nella sessione dell'anno accademico per il quale non si è rinnovata l'iscrizione e che tale iscrizione in corso non è valida ai fini di ottenere i benefici previsti da Bandi ARSTUD e Università.

– **ISCRIZIONE COME STUDENTE RIPETENTE.** In alcuni corsi di studio la normale progressione della carriera è condizionata dal superamento di sbarramenti didattici. In questi casi, lo studente che non riesca a superare tali sbarramenti è iscritto di nuovo allo stesso anno di corso come **ripetente** (questi sono gli unici casi possibili di ripetenza in anni intermedi)

– **ISCRIZIONE FUORI CORSO.** Si iscrive fuori corso lo studente che si è già iscritto a tutti gli anni di corso previsti dal percorso didattico scelto e che, nei corsi a frequenza obbligatoria, ha ottenuto tutte le attestazioni di frequenza.

### **Passaggi ad altro Corso di Studi-Alma Mater Studiorum - Università di Bologna**

Lo studente può passare ad altro corso di studi dell'Università degli Studi di Bologna, presentando domanda alla Segreteria studenti, redatta su apposito modulo in marca da bollo, entro il 20 novembre 2002 per i corsi a libero accesso o nel periodo e con le modalità indicate nel bando di concorso per quelli a numero programmato.

Lo studente è tenuto al versamento della prima rata di tasse, qualora non sia stata già versata, dell'indennità di congedo e a regolarizzare eventuali posizioni debitorie

### **Trasferimenti ad altro Ateneo**

Lo studente può trasferirsi presentando domanda alla Segreteria studenti, redatta su apposito modulo in marca da bollo, entro il 20 novembre 2002, fatte salve eventuali diverse scadenze previste dai bandi limitatamente ai trasferimenti su corsi a numero programmato.

Lo studente non è tenuto al pagamento della prima rata di tasse per l'anno accademico successivo: È tenuto, invece, a versare un'indennità di congedo e a regolarizzare eventuali posizioni debitorie.

## Decadenza

Gli iscritti ai corsi di studio attivati con la riforma, decadono dalla qualità di studente e dagli studi precedentemente effettuati se non acquisiscono **almeno 30 crediti entro 5 anni solari successivi a quello dell'immatricolazione**. Inoltre, sono previsti ulteriori termini di decadenza differenziati per tipo di corso di studio.

\* Gli iscritti ai **corsi di laurea triennali** decadono se non ottengono tutti i crediti previsti per il conseguimento del titolo, ad eccezione di quelli riservati alla prova finale, entro gli ulteriori 6 anni solari;

\* Gli iscritti ai **corsi di laurea specialistica** decadono se non ottengono tutti i crediti previsti per il conseguimento del titolo, ad eccezione di quelli riservati alla prova finale, entro gli ulteriori 3 anni solari;

Tutti i termini sono incrementati di ulteriori 2 anni solari per lo studente lavoratore.

– **IMMATRICOLAZIONE E RICONOSCIMENTO DEI CREDITI PER STUDENTI DECADUTI**. Lo studente decaduto, qualora intenda iscriversi nuovamente a corsi di studio dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna è obbligato a immatricolarsi. Ha facoltà di richiedere che i crediti già acquisiti siano valutati dal Consiglio di Corso di studio ai fini di un possibile riconoscimento, parziale o completo.

## Interruzioni di carriera

Lo studente che non abbia rinnovato l'iscrizione per almeno un anno accademico, qualora intenda proseguire gli studi, deve presentare apposita domanda di ricongiunzione della carriera ed è tenuto a versare, per ogni anno di interruzione, una tassa di ricognizione nella misura stabilita dagli Organi accademici.

Il versamento della tassa di ricognizione per un anno accademico in luogo dell'intera quota di iscrizione è dovuto per le domande prodotte a decorrere dal 1° gennaio dell'anno accademico successivo.

Gli anni di interruzione della carriera sono comunque computati ai fini della decadenza.

(Tali disposizioni si applicano anche a coloro che interrompono la carriera per iscriversi a corsi di studio all'estero al di fuori di progetti e convenzioni di collaborazione internazionale universitaria o ad Istituti di formazione militare italiani).

Lo studente già iscritto, che intenda proseguire gli studi in altro corso di studio di diverso livello dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna, prima di iscriversi al nuovo, deve interrompere gli studi in corso. Qualora lo stesso studente voglia riprendere in seguito gli studi interrotti, non è tenuto a versare la tassa di ricognizione.

Negli anni di interruzione, gli studenti non potranno compiere alcun atto di carriera relativamente al corso interrotto.

## Rinuncia

Gli studenti che non intendono continuare gli studi intrapresi hanno facoltà di rinunciare agli stessi, ancorché non si sia verificata la decadenza. La rinuncia deve essere manifestata con atto scritto, redatto su apposito modulo in marca da bollo o carta legale, senza alcuna condizione, termine o clausola che ne restringano l'efficacia. Essa sarà irrevocabile e lo studente, pertanto, non potrà far rivivere in avvenire la sua precedente carriera scolastica già estinta per effetto della rinuncia. Lo studente rinunciatario non ha diritto ad alcun rimborso di tasse già pagate.

## Diritti e doveri dello studente

L'Alma Mater Studiorum Università di Bologna assicura forme e strumenti di pubblicità dei procedimenti e delle decisioni assunte in merito alle carriere degli studenti.

L'Università, altresì, promuove la partecipazione degli studenti ai procedimenti relativi allo svolgimento della loro carriera.

Lo studente ha facoltà di sollecitare l'intervento del Garante d'Ateneo, nel caso in cui si ritenga lesa nei propri diritti o interessi.

In ogni caso, avverso i provvedimenti relativi alla carriera degli studenti, è ammesso ricorso giurisdizionale al Tribunale Amministrativo Regionale dell'Emilia-Romagna.  
(art.18 – Nuovo Regolamento Studenti)

Gli studenti dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna durante il corso dei loro studi sono tenuti ad osservare comportamenti rispettosi della legge, dei regolamenti universitari, delle libertà e dei diritti di tutti i soggetti che svolgono la loro attività di lavoro o di studio all'interno delle strutture dell'Ateneo e ad astenersi dal danneggiamento dei beni di proprietà dell'Ateneo o di terzi, che anche temporaneamente vi si trovino.

Le violazioni delle norme di disciplina dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna comportano a carico dei trasgressori l'applicazione di provvedimenti disciplinari.

Nel caso di comportamenti degli studenti che possano integrare anche fattispecie di reato l'Alma Mater Studiorum Università di Bologna provvede tempestivamente ad informare l'Autorità Giudiziaria ed adotta i conseguenti provvedimenti previsti dalla legge.  
(art. 19 – Nuovo Regolamento Studenti)

## SEDE DI CESENA

**Corso di laurea in**  
**Classe di appartenenza**  
**Facoltà di afferenza**

**Ingegneria Biomedica**  
**9 – Ingegneria dell'Informazione**  
**Ingegneria – sede di Cesena**

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Gianni Gnudi**

### *Obiettivi formativi qualificanti*

Il Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica ha l'obiettivo di fornire ai laureati le seguenti conoscenze e capacità:

- conoscenza degli aspetti metodologico-operativi di base delle scienze matematiche, fisiche, chimiche e biologiche;
- conoscenza degli aspetti metodologico-operativi delle discipline di ingegneria rilevanti per le applicazioni biomediche;
- capacità di identificare, formulare e risolvere i problemi rilevanti per l'ingegneria biomedica mediante metodi, tecniche e strumenti aggiornati;
- capacità di utilizzare tecniche e strumenti per la progettazione di componenti, sistemi, processi rilevanti per l'ingegneria biomedica;
- capacità di condurre esperimenti e analizzarne i risultati;
- capacità di comprendere l'interazione tra apparecchiature/strumentazione/materiali e fenomeni biologici
- capacità di comprendere l'impatto della tecnologia e delle soluzioni tecniche nel contesto sociale e ambientale;
- conoscenza e comprensione delle responsabilità professionali e dei fattori etici;
- conoscenza e comprensione dei problemi di sicurezza e delle normative relative;
- conoscenza e comprensione relative alla qualità dei servizi/prodotti forniti;
- conoscenza e comprensione dei contesti aziendali e della cultura d'impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi;
- conoscenza dei contesti contemporanei e capacità relazionali e decisionali;
- capacità di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, in italiano ed in almeno un'altra lingua dell'Unione Europea;
- capacità di aggiornare le proprie conoscenze, anche attraverso lo studio individuale.

### *Obiettivi formativi specifici*

1. Il C.L. in Ingegneria Biomedica ha l'obiettivo di fornire agli studenti la padronanza di contenuti scientifici e metodi generali, adeguata ad acquisire specifiche conoscenze professionali negli ambiti multidisciplinari afferenti all'ingegneria biomedica. Il processo di formazione è quindi progettato in modo da delineare figure professionali polivalenti in possesso di una solida cultura tecnico-biologica, basata sull'integrazione tra ingegneria dell'informazione, ingegneria industriale e cultura medico-biologica. Su queste basi si intende costruire una figura professionale in grado di inserirsi nel variegato mondo del lavoro e delle professioni, a cavallo tra tecnologie avanzate e problematiche medico-biologiche, ed abbia gli strumenti per orientarsi tra le succes-



indicativo, per il 3° anno (a.a. 2004-2005)								
Economia e organiz. aziendale L-A	6	C	Strumentazione biomedica L-A	6	B	Fondamenti di Informatica L-B	6	C
Biomateriali L-A	6	C	Laboratorio di Bioingegneria L-A	3	B	Laboratorio di bioingegneria L-B o Lingua inglese L-B	3	F
Comportamento meccanico dei materiali L-A (2)	6	C	Ingegneria clinica L	6	B	Tirocinio L o Cultura d'impresa L-A	3	F
Attività formative a scelta libera <sup>(2)</sup>							6	
							Prova finale	6 E
tot crediti		18			15			30
<b>Totale crediti</b>								<b>63</b>

(1) Fisiologia L-B è l'unico insegnamento attivato, fra quelli a scelta del percorso n.1, indicati nella Tabella 3a del Regolamento didattico di Corso di Studio. Il percorso n. 2 non è attivato.

(2) Questo insegnamento è l'unico attivato fra quelli a scelta guidata elencati nella Tabella 4 del Regolamento didattico di Corso di Studio.

(3) Attività formative consigliate per la scelta libera per chi vuole proseguire gli studi:

Analisi matematica BS, Geometria e Algebra BS, Analisi numerica BS-A, Modelli di sistemi biologici BS

**per chi non vuole proseguire gli studi:**

Calcolatori elettronici L-A, Elettronica industriale L-A, Gestione della qualità L-A, Ricerca operativa L-A, Biochimica BS, Modelli di sistemi biologici BS, Biomeccanica BS

### Per gli studenti che si iscrivono al 2° anno

I ciclo			II ciclo			III ciclo		
Insegnamento/Attività formative	cre-diti	tip	Insegnamento/Attività formative	cre-diti	tip	Insegnamento/Attività formative	cre-diti	tip
<b>Piano di studi del 1° anno (a.a. 2001/02)</b>								
Analisi matematica L-A	6	A	Analisi matematica L-B	6	A	Elettrotecnica L-A	6	B
Geometria ed algebra L-A	6	A	Fisica generale L-A	6	A	Fisica generale L-B	6	A
Reti logiche L-A	6	C	Fondamenti di informatica L-A	6	B	Fondamenti di chimica L	6	C
Lingua inglese L-A							3	E
tot crediti		18			18			20
<b>Totale crediti</b>								<b>56</b>

<b>2° anno</b>								
Controlli automatici L-A	6	C	Elettronica L-A	6	B	Elettronica L-B	6	C
Matematica applicata L-A	6	C	Comunicazioni elettriche L-A	6	C	Bioingegneria L	6	B
Fisiologia L-A	6	C	Fisica tecnica L-A	6	B	Biomeccanica L	6	B
			Fisiologia L-B	6	C			
tot crediti		18			24			18
<b>Totale crediti</b>								<b>60</b>

indicativo, per il 3° anno (a.a. 2003-2004)								
Economia e organiz. aziendale L-A	6	C	Strumentazione biomedica L-A	6	B	Fondamenti di Informatica L-B	6	C
Biomateriali L-A	6	C	Laboratorio di Bioingegneria T-L	4	B	Laboratorio di bioingegneria L-B o Lingua inglese L-B	3	F
Comportamento meccanico dei materiali L-A (2)	6	C	Ingegneria clinica L	6	B	Tirocinio L o Cultura d'impresa L-A	6	F
Attività formative a scelta libera <sup>(2)</sup>							6	
							Prova finale	6 E
tot crediti		18			15			30
<b>Totale crediti</b>								<b>63</b>

(1) Fisiologia L-B è l'unico insegnamento attivato, fra quelli a scelta del percorso n.1, indicati nella Tabella 3a del Regolamento didattico di Corso di Studio. Il percorso n. 2 non è attivato.

(2) Questo insegnamento è l'unico attivato fra quelli a scelta guidata elencati nella Tabella 4 del Regolamento didattico di Corso di Studio.

(3) Attività formative consigliate per la scelta libera per chi vuole proseguire gli studi:

Analisi matematica BS, Geometria e Algebra BS, Analisi numerica BS-A, Modelli di sistemi biologici BS

**per chi non vuole proseguire gli studi:**

Calcolatori elettronici L-A, Elettronica industriale L-A, Gestione della qualità L-A, Ricerca operativa L-A, Biochimica BS, Modelli di sistemi biologici BS, Biomeccanica BS

### Per gli studenti che si iscrivono al 3° anno

I ciclo			II ciclo			III ciclo		
Insegnamento/Attività formativa	cre- diti	tip	Insegnamento/Attività formativa	cre- diti	tip	Insegnamento/Attività formativa	cre- diti	tip
<b>Piano di studi del 1° anno vecchio ordinamento (a.a. 2000/01), convertito nel nuovo ordinamento</b>								
Analisi matematica L-A	6	A	Elettronica L-A	6	B	Elettrotecnica L-A	6	B
Geometria ed algebra L-A	6	A	Fisica generale L-A	6	A	Fisica generale L-B	6	A
Reti logiche L-A	6	C	Fondamenti di informatica L-A	6	B	Controlli automatici L-A	6	C
			Comunicazioni elettriche L-A	6	C			
tot crediti	18			24			18	
<b>Totale crediti</b>								<b>60</b>

<b>2° anno (a.a. 2001-02)</b>								
Analisi Matematica L-B	6	A	Elettronica L-B	6	C	Bioingegneria L-A	5	B
Matematica applicata L-A	6	C	Fisica tecnica L-A	6	B	Biomeccanica L-A	5	B
Fisiologia L-A	6	C	Fisiologia L-B (1)	6	C	Fondamenti di Chimica L-A	5	C
						Laboratorio biomedico L-A	3	B
Lingua inglese L-A							3	E
tot crediti	18			18			21	
<b>Totale crediti</b>								<b>57</b>

<b>3° anno</b>								
Economia e organiz. aziendale L-A	6	C	Strumentazione biomedica L	6	B	Fondamenti di Informatica L-B	6	C
Biomateriali L	6	B	Elaborazione di dati e segnali bio- medici TL	3	B	Tirocinio L o Cultura d'impresa L-A	6	F
Comportamento meccanico dei materiali L-A (2)	6	B	Ingegneria clinica L	6	B			
			Laboratorio di bioingegneria L-B o Lingua inglese L-B	3	F			
Attività formativa a scelta libera <sup>(3)</sup>							9	D
						Prova finale	6	
tot crediti	18			18			27	
<b>Totale crediti</b>								<b>63</b>

(1) Fisiologia L-B è l'unico insegnamento attivato, fra quelli a scelta del percorso n.1, indicati nella Tabella 3a del Regolamento didattico di Corso di Studio. Il percorso n. 2 non è attivato.

(2) Questo insegnamento è l'unico attivato fra quelli a scelta guidata elencati nella Tabella 4 del Regolamento didattico di Corso di Studio.

(3) Attività formative consigliate per la scelta libera per chi vuole proseguire gli studi:

Analisi matematica BS, Geometria e Algebra BS, Analisi numerica BS-A, Modelli di sistemi biologici BS

*per chi non vuole proseguire gli studi:*

Calcolatori elettronici L-A, Elettronica industriale L-A, Gestione della qualità L-A, Ricerca operativa L-A, Biochimica BS, Modelli di sistemi biologici BS, Biomeccanica BS

**Corso di laurea in**  
**Classe**  
**Facoltà**

**Ingegneria delle Telecomunicazioni**  
**9 – Ingegneria dell'Informazione**  
**Ingegneria – Sede di Cesena**

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Marco Chiani**

*Obiettivi formativi qualificanti*

I laureati in Ingegneria delle Telecomunicazioni dovranno:

- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre



scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria;

- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi delle scienze dell'ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli dell'ingegneria delle Telecomunicazioni nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere i problemi utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati;
- essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per la progettazione di componenti, sistemi, processi;
- essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne e interpretarne i dati;
- conoscere i contesti aziendali e la cultura d'impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi; avere capacità relazionali e decisionali;
- essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, oltre che in italiano anche in lingua inglese;
- possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze ed essere capaci di apprendere attraverso lo studio individuale.

Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è pari almeno al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

#### Obiettivi formativi specifici

La Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni si pone l'obiettivo specifico di formare figure professionali in grado di coprire ruoli tecnici e tecnico/organizzativi in contesti che richiedono la conoscenza degli aspetti metodologico-operativi delle scienze di base e dell'ingegneria, con privilegio degli aspetti specifici dell'ambito delle telecomunicazioni senza tralasciare gli aspetti generali.

I laureati verranno a conoscenza delle principali caratteristiche delle tecniche, degli apparati, dei sistemi e delle infrastrutture riguardanti l'acquisizione, l'elaborazione ed il trasporto delle informazioni e la loro utilizzazione in applicazioni e servizi di telecomunicazione.

La preparazione sarà integrata da esperienze di laboratorio, elementi di cultura aziendale contemporanea forniti tramite seminari, lezioni, e/o tirocinio, e da adeguate conoscenze di lingua straniera.

Il profilo formativo del laureato in Ingegneria delle Telecomunicazioni consente di operare nei settori della progettazione, ingegnerizzazione, produzione, esercizio e manutenzione dei sistemi di telecomunicazioni, nonché in settori adiacenti quali quelli caratterizzanti la classe dell'Ingegneria dell'Informazione.

Gli ambiti professionali tipici per i laureati sono le imprese pubbliche e private manifatturiere e di servizi, le strutture tecnico-commerciali, le amministrazioni pubbliche, gli enti normativi e di controllo.

#### Piano didattico per chi si iscrive al 1° anno di corso nell'a.a. 2002-03

1° anno									
I ciclo		II ciclo				III ciclo			
Analisi matematica L-A	6	A	Analisi matematica L-B	6	A	Elettrotecnica L-A	6	C	
Geometria e algebra L-A	6	A	Fisica generale L-A	6	A	Fisica generale L-B	6	A	
Reti logiche L-A	6	A	Fondamenti di informatica L-A	6	A	Fondamenti di informatica L-B	6	B	
Lingua straniera: Inglese LA				3	E				
Lingua straniera: Inglese LB				3	F				

<b>Ipotesi per gli anni successivi (a titolo indicativo)</b>								
<b>2° anno</b>								
Controlli automatici L-A	6	B	Elettronica L-A	6	B	Elettronica L-B	6	B
Analisi matematica L-C	6	A	Comunicazioni elettriche L-A	6	B	Comunicazioni elettriche L-B	6	B
Matematica applicata L-A	6	C	Propagazione L-A	6	B	Sistemi operativi L-A	6	B
Calcolatori elettronici L-A	6	B				Laboratorio di Elettronica LA	3	B

<b>Percorso applicativo (n. 1)</b>								
<b>III anno</b>								
Campi elettromagnetici L-A	6	B	<b>Uno a scelta tra i seguenti:</b> Reti di telecomunicazioni L-B Sistemi di telecomunicazioni L-B	6	B	Tirocinio/Cultura d'impresa L-A	6	F
Sistemi di telecomunicazioni L-A	6	B						
Reti di telecomunicazioni L-A	6	B						
Economia e Organiz. aziendale L-A	6	C	<b>Uno a scelta tra i seguenti:</b> Antenne L-A Microonde L-A	6	B	<b>Uno a scelta tra i seguenti:</b> Lab. di elab. num. dei segnali L-A Lab. di reti di telecom. L-A		
<b>Prova finale</b>							6	E
<b>Scelta</b>							9	D

<b>Percorso ICT - Tecnologico (n. 2)</b>								
<b>III anno</b>								
Campi elettromagnetici L-A	6	B	Reti di calcolatori L-A	6	B	Tirocinio/Cultura d'impresa L-A	6	F
Sistemi di telecomunicazioni L-A	6	B	Elettronica dei Sistemi Digitali L-A	6	B	<b>Uno a scelta tra i seguenti:</b> Lab. di elab. num. dei segnali L-A Lab. di reti di telecom. L-A		
Reti di telecomunicazioni L-A	6	B						
Economia e Organiz. aziendale L-A	6	C					3	B
<b>Prova finale</b>							6	E
<b>Scelta</b>							9	D

Le attività formative della tipologia D sono scelte autonomamente dallo studente. La collocazione nei cicli dipende dagli insegnamenti scelti.

## Piano didattico per chi si iscrive al 2° anno di corso nell'a.a. 2002-03

<b>1° anno - Piano didattico del 1° anno (a.a. 2001-02)</b>								
I ciclo			II ciclo			III ciclo		
Analisi matematica L-A	6	A	Analisi matematica L-B	6	A	Elettrotecnica L-A	6	C
Geometria e algebra L-A	6	A	Fisica generale L-A	6	A	Fisica generale L-B	6	A
Reti logiche L-A	6	A	Fondamenti di informatica L-A	6	A	Fondamenti di informatica L-B	6	B
<i>Lingua straniera: Inglese LA</i>							3	E
<i>Lingua straniera: Inglese LB</i>							3	F

<b>2° anno - Piano didattico del 2° anno (a.a. 2002-03)</b>								
Controlli automatici L-A	6	B	Elettronica L-A	6	B	Elettronica L-B	6	B
Economia e Organizz. Az.le	6	C	Comunicazioni elettriche L-A	6	B	Comunicazioni elettriche L-B	6	B
Matematica applicata L-A	6	C	Propagazione L-A	6	B	Sistemi operativi L-A	6	B
Calcolatori elettronici L-A	6	B				Laboratorio di Elettronica LA	3	B
<b>Ipotesi per il terzo anno (a titolo indicativo) - Percorso applicativo (n. 1)</b>								
<b>III anno</b>								
Campi elettromagnetici L-A	6	B	<b>Uno a scelta tra i seguenti:</b> Reti di telecomunicazioni L-B Sistemi di telecomunicazioni L-B	6	B	Tirocinio/Cultura d'impresa L-A	6	F
Sistemi di telecomunicazioni L-A	6	B						
Reti di telecomunicazioni L-A	6	B						
Economia e Organiz. aziendale L-A	6	C	<b>Uno a scelta tra i seguenti:</b> Antenne L-A Microonde L-A	6	B	<b>Uno a scelta tra i seguenti:</b> Lab. di elab. num. dei segnali L-A Lab. di reti di telecom. L-A		
<b>Prova finale</b>							6	E
<b>Scelta</b>							9	D

**Percorso ICT - Tecnologico (n. 2)**

III anno

Campi elettromagnetici L-A	6	B	Reti di calcolatori L-A	6	B	Tirocinio/Cultura d'impresa L-A	6	F
Sistemi di telecomunicazioni L-A	6	B	Elettronica dei Sistemi Digitali L-A	6	B	<b>Uno a scelta tra i seguenti:</b> Lab. di elab. num. dei segnali L-A Lab. di reti di telecom. L-A		
Reti di telecomunicazioni L-A	6	B					3	B
Economia e Organiz. aziendale L-A	6	C						
<b>Prova finale</b>							6	E
<b>Scelta</b>							9	D

Le attività formative della tipologia D sono scelte autonomamente dallo studente. La collocazione nei cicli dipende dagli insegnamenti scelti.

### Piano didattico per chi si iscrive al 3° anno di corso nell'a.a. 2002-03 provenendo dall'orientamento APPLICATIVO

1° anno - Piano didattico del 1° anno (a.a. 2000-01 convertito nel ND)

I ciclo			II ciclo			III ciclo		
Analisi matematica L-A	6	A	Analisi matematica L-B	6	A	Elettrotecnica L-A	6	C
Geometria e algebra L-A	6	A	Fisica generale L-A	6	A	Fisica generale L-B	6	A
Reti logiche L-A	6	A	Fondamenti di Informatica L-A	6	A	Fondamenti di informatica L-B	6	B
<i>Lingua straniera: Inglese</i>							3	E
<i>Lingua straniera: Inglese B</i>							3	F

2° anno - Piano didattico del 2° anno (a.a. 2001-02)

Controlli automatici L-A	6	B	Elettronica L-A	6	B	Elettronica L-B	6	B
Economia e Organiz. aziendale L-A	6	C	Comunicazioni elettriche L-A	6	B	Comunicazioni elettriche L-B	6	B
Matematica applicata L-A	6	C	Propagazione L-A	6	B	Sistemi operativi L-A	6	B
Calcolatori elettronici L-A	6	B				Laboratorio di Elettronica LA	3	B

**Percorso applicativo (n. 1)**

III anno

Campi elettromagnetici L-A	6	B	<b>Uno a scelta tra i seguenti:</b> Sistemi di telecomunicazioni L-B Reti di telecomunicazioni L-B	6	B	Tirocinio/Cultura d'impresa L-A	6	F
Sistemi di telecomunicazioni L-A	6	B						
Reti di telecomunicazioni L-A	6	B						
Analisi matematica L-C	6	A	<b>Uno a scelta tra i seguenti:</b> Antenne L-A Microonde L-A	6	B	<b>Uno a scelta tra i seguenti:</b> Lab. di elab. num. dei segnali L-A Lab. di reti di telecom. L-A		
<b>Prova finale</b>							6	E
<b>Scelta</b>							9	D

**Percorso ICT - Tecnologico (n. 2)**

III anno

Campi elettromagnetici L-A	6	B	Reti di calcolatori L-A	6	B	Tirocinio/Cultura d'impresa L-A	6	F
Sistemi di telecomunicazioni L-A	6	B	Elettronica dei Sistemi Digitali L-A	6	B	<b>Uno a scelta tra i seguenti:</b> Lab. di elab. num. dei segnali L-A Lab. di reti di telecom. L-A		
Reti di telecomunicazioni L-A	6	B					3	B
						Sistemi Operativi L-A	6	B
						Complementi di Fondamenti di Chimica L-A	1	A
<b>Prova finale</b>							6	E
<b>Scelta</b>							9	D

**Scelte consigliate per gli studenti del percorso n. 1 (Applicativo)**

Calcolo Numerico L-A	3	<i>Tra quelli non già inseriti:</i>	
		Sistemi di telecomunicazioni L-B	6
		Reti di telecomunicazioni L-B	6
		Microonde L-A	6
		Antenne L-A	6

<i>Tra quelli non già inseriti:</i>	
Lab. di elaborazione numerica di segnali L-A	3
Lab. di reti di telecom. L-A	3

**Scelte consigliate per gli studenti del percorso n. 2 (ICT - tecnologico)**

Analisi matematica L-C	6
Calcolo Numerico L-A	3

<i>Tra quelli non già inseriti:</i>	
Lab. di elaborazione numerica di segnali L-A	3
Lab. di reti di telecom. L-A	3

**Elenco completo degli insegnamenti a scelta consigliati**

Calcolo Numerico L-A	3	Sistemi di telecomunicazioni L-B	6	Sistemi Operativi L-A	6
Geometria ed Algebra L-B	3	Reti di telecomunicazioni L-B	6	Controlli Automatici L-B6	
Analisi matematica L-C	6	Microonde L-A	6	Lab. di elaborazione numerica di segnali L-A	3
		Antenne L-A	6	Lab. di reti di telecom. L-A	3
		Sistemi Informativi L-A	6		
		Ricerca Operativa L-A	6		

**Piano didattico per chi si iscrive al 3° anno di corso nell'a.a. 2002-03  
provenendo dall'orientamento GENERALE**

1° anno - Piano didattico del 1° anno (a.a. 2000-01 convertito nel NO)					
I ciclo		II ciclo		III ciclo	
Analisi matematica L-A	6 A	Analisi matematica L-B	6 A	Elettrotecnica L-A	6 C
Geometria e algebra L-A	6 A	Fisica generale L-A	6 A	Fisica generale L-B	6 A
Reti logiche L-A	6 A	Fondamenti di informatica L-A	6 A	Fondamenti di informatica L-B	6 B
<i>Lingua straniera: Inglese (2)</i>					3 E
<i>Lingua straniera: Inglese B (2)</i>					3 F

2° anno - Piano didattico del 2° anno (a.a. 2001-02)					
Controlli automatici L-A	6 B	Elettronica L-A	6 B	Elettronica L-B	6 B
Economia e Organiz. aziendale L-A	6 C	Comunicazioni elettriche L-A	6 B	Comunicazioni elettriche L-B	6 B
Matematica applicata L-A	6 C	Propagazione L-A	6 B	Scelta (1) (2)	D
Calcolatori elettronici L-A	6 B				

Percorso applicativo (n. 1)					
III anno					
Campi elettromagnetici L-A	6 B	<i>Uno a scelta tra i seguenti:</i> Sistemi di telecomunicazioni L-B	6 B	Tirocinio/Cultura d'impresa L-A	6 F
Sistemi di telecomunicazioni L-A	6 B				
Reti di telecomunicazioni L-A	6 B	Reti di telecomunicazioni L-B	6 B		
Analisi matematica L-C	6 A	<i>Uno a scelta tra i seguenti:</i> Antenne L-A	6 B	<i>Uno a scelta tra i seguenti:</i> Lab. di elab. num. dei segnali L-A	3 B
<i>Prova finale</i>					6 E
<i>Scelta (1) (2)</i>					D

Percorso ICT - Tecnologico (n. 2)					
III anno					
Campi elettromagnetici L-A	6 B	Reti di calcolatori L-A	6 B	Tirocinio/Cultura d'impresa L-A	6 F
Sistemi di telecomunicazioni L-A	6 B	Elettronica dei Sistemi Digitali L-A	6 B	<i>Uno a scelta tra i seguenti:</i> Lab. di elab. num. dei segnali L-A	3 B
Reti di telecomunicazioni L-A	6 B				
Analisi matematica L-C	6 A			Lab. di reti di telecom. L-A	
<i>Prova finale</i>					6 B
<i>Scelta (1) (2)</i>					6 E
<i>Scelta (1) (2)</i>					D

**Scelte consigliate per gli studenti del percorso n. 1 (Applicativo)**

Calcolo Numerico L-A 3

*Tra quelli non già inseriti:*

Lab. di elaborazione numerica dei segnali L-A 3  
Lab. di reti di telecom. L-A 3

**Elenco completo degli insegnamenti a scelta consigliati**

Calcolo Numerico L-A	3	Sistemi di telecomunicazioni L-B	6	<i>Tra quelli non già inseriti:</i>	
Geometria ed Algebra L-B	3	Reti di telecomunicazioni L-B	6	Lab. di elaborazione numerica dei segnali L-A	3
		Microonde L-A	6	Lab. di reti di telecom. L-A	3
		Antenne L-A	6	Controlli Automatici L-B	6
		Sistemi Informativi L-A	6	Complementi di Fondamenti di Chimica L-A (2)	1
		Ricerca Operativa L-A	6		

Nota (1): Il numero di crediti per insegnamenti a scelta è non inferiore a 9 CFU sui tre anni di corso.

Nota (2): Gli studenti che hanno sostenuto l'esame di "Fond. di chimica L-A (5 CFU)" possono sostenere l'esame di "Complementi di fondamenti di Chimica L-A" da 1 CFU.

Corso di laurea in  
Classe  
Facoltà

Ingegneria Elettronica  
9 - Ingegneria dell'Informazione  
Ingegneria - sede di Cesena

Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Enrico Sangiorgi

### *Obiettivi formativi qualificanti*

I laureati in Ingegneria Elettronica dovranno:

- Conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria.
- Conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi delle scienze dell'ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli dell'Ingegneria elettronica nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere i problemi utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati.
- Essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per la progettazione di componenti, sistemi, processi.
- Essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne e interpretarne i dati.
- Conoscere i contesti aziendali e la cultura d'Impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi; avere capacità relazionali e decisionali.
- Essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, oltre che in italiano, anche in inglese.
- Possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze, ed essere capaci di apprendere attraverso lo studio individuale.

Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è pari almeno al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

### *Obiettivi formativi specifici*

I laureati verranno a conoscenza degli aspetti metodologici e operativi delle Scienze di base e dell'Ingegneria, con privilegio degli aspetti specifici dell'ambito dell'Elettronica senza tralasciare gli aspetti generali. I laureati verranno a conoscenza degli strumenti fondamentali per il progetto di componenti, sistemi e processi.

La preparazione sarà completata e integrata da esperienze di laboratorio, elementi di cultura aziendale contemporanea forniti tramite seminari, lezioni, e/o tirocinio, e da adeguate conoscenze di lingua straniera.

Il profilo formativo del laureato in Ingegneria elettronica consente di operare nei settori della progettazione, sviluppo, ingegnerizzazione, produzione, esercizio e manutenzione dei sistemi elettronici, nonché in settori adiacenti quali quelli caratterizzanti la Classe dell'Ingegneria dell'Informazione.

Gli ambiti professionali tipici del laureato in Ingegneria elettronica sono le Aziende di progettazione e produzione di componenti, apparati e sistemi elettronici ed optoelettronici, le Industrie manifatturiere, i settori delle Amministrazioni pubbliche e delle Imprese di servizi che applicano tecnologie e infrastrutture elettroniche per il trattamento, la trasmissione e l'impiego di segnali in ambito civile, industriale e dell'informazione.

## Piano didattico - a.a. 2002-03 - Studenti che si iscrivono al 1° anno

1° anno								
I ciclo			II ciclo			III ciclo		
Insegnamento/Attività formativa	cre-diti	tip	Insegnamento/Attività formativa	cre-diti	tip	Insegnamento/Attività formativa	cre-diti	tip
Analisi matematica L-A	6	A	Analisi matematica L-B	6	A	Elettrotecnica L-A	6	C
Geometria e algebra L-A	6	A	Fisica generale L-A	6	A	Fisica generale L-B	6	A
Reti logiche L-A	6	A	Fondamenti di informatica L-A	6	A	Fondamenti di informatica L-B	6	B
<i>Lingua straniera: Inglese</i>				3	E			
<i>Lingua straniera: Inglese B</i>				3	F			
<i>tot. crediti</i>		18			24			18
<b>Tot. crediti</b>								

Indicativo, per il 2° anno (A.A. 2003/2004)								
Controlli automatici L-A	6	B	Elettronica L-A	6	B	Elettronica L-B	6	B
Matematica applicata L-A	6	C	Comunicazioni elettriche L-A	6	B	Comunicazioni elettriche L-B	6	B
Calcolatori Elettronici L-A	6	B	Propagazione L-A	6	B			
Economia e Organiz. aziendale L-A	6	C	Laboratorio di Elettronica L-A				3	B
		24			18			15
<b>Tot. crediti</b>								

Percorso applicativo: indicativo, per il 3° anno (A.A. 2004/2005)								
Misure Elettroniche L-A	6	B	Elettronica L-C	6	B	Tirocinio/(Cultura d'impresa L-A)	6	F
Campi Elettromagnetici L-A	6	B	Elettronica dei Sistemi Digitali L-A	6	B			
Fondamenti di Chimica L-A	6	A	Elettronica L-D/Elettronica Inudst-riale L-A	6	B			
Geometria L-B & Calcolo Numerico L-A/Gestione della Qualità L-A	6	C						
A Scelta (**)							9	D
						Prova finale	6	E
		24			18			21
<b>Tot. crediti</b>								

Percorso sistemico: indicativo, per il 3° anno (A.A. 2004/2005)								
Reti di Telecomunicazioni L-A	6	B	Elettronica L-C	6	B	Tirocinio/(Cultura d'impresa L-A)	6	F
Campi Elettromagnetici L-A	6	B	Elettronica dei Sistemi Digitali L-A	6	B	Sistemi Operativi L-A	6	B
Analisi Matematica L-C	6	A	Reti di Calcolatori L-A	6	B			
A Scelta (**)							9	D
						Prova finale	6	E
		18			18			27
<b>Tot. crediti</b>								

Le attività formative della tipologia D sono scelte autonomamente dallo studente. La collocazione nei cicli dipende dagli insegnamenti scelti.

## Piano didattico - a.a. 2002-03 - Studenti che si iscrivono al 2° anno

1° anno (frequentato nell'A.A. 2001-02)								
I ciclo			II ciclo			III ciclo		
Insegnamento/Attività formativa	cre-diti	tip	Insegnamento/Attività formativa	cre-diti	tip	Insegnamento/Attività formativa	cre-diti	tip
Analisi matematica L-A	6	A	Analisi matematica L-B	6	A	Elettrotecnica L-A	6	C
Geometria e algebra L-A	6	A	Fisica generale L-A	6	A	Fisica generale L-B	6	A
Reti logiche L-A	6	A	Fondamenti di informatica L-A	6	A	Fondamenti di informatica L-B	6	B
<i>Lingua straniera: Inglese</i>				3	E			
<i>Lingua straniera: Inglese B</i>				3	F			
<i>tot. crediti</i>		18			24			18
<b>Tot. crediti</b>								



3° anno (A.A. 2002/2003) - specifico del percorso sistemistico										
Reti di Telecomunicazioni L-A	6	B	Elettronica L-C	6	B	Tirocinio/(Cultura d'impresa L-A)	6	F		
Campi Elettromagnetici L-A	6	B	Elettronica dei Sistemi Digitali L-A	6	B	Sistemi Operativi L-A	6	B		
Analisi Matematica L-C (*)	6	A	Reti di Calcolatori L-A	6	B	Complementi di Fondamenti di Chimica (##)	1	A		
Laboratorio di Elettronica L-A				3	B					
A Scelta (**)									9	D
Prova finale									6	E
									12	
									21	
									28	
<b>Tot. crediti</b>										<b>61</b>

(\*) solo per gli studenti che non hanno ancora sostenuto l'esame di Fondamenti di Chimica L-A. L'esame di Fondamenti di Chimica L-A viene tolto dal curriculum di quegli studenti che si iscrivono al terzo anno con percorso sistemistico senza aver ancora sostenuto l'esame di Fondamenti di Chimica L-A.

(##) Solo per gli studenti iscritti al secondo anno nell'A.A. 2001-2002 e che hanno già sostenuto l'Esame di Fondamenti di Chimica L-A: il CFU viene assegnato con giudizio di idoneità.

(\*\*) Le attività formative della tipologia D sono scelte autonomamente dallo studente. La collocazione nei cicli dipende dagli insegnamenti scelti.

Si segnalano, per una eventuale scelta, i seguenti moduli disponibili nell'ambito della programmazione dei Piani degli Studi dei Corsi di laurea dell'Ingegneria dell'Informazione di Ingegneria Biomedica della sede di Cesena

Geometria L-B	3		Ricerca Operativa L-A	6		Strumentazione Elettronica L-A	6	
Calcolo numerico L-A	3		Strumentazione biomedica L	6		Bioingegneria L-A	6	
Gestione della Qualità L-A	6		Sistemi Informativi L-A	6		Controlli Automatici L-B	6	
			Elettronica Industriale	6				
			Elettronica L-D	6				

### Piano didattico - a.a. 2002-03 - Studenti che si iscrivono al 3° anno provenienti dal secondo anno del CdL - Percorso Applicativo

1° anno vecchio ordinamento, convertito nel nuovo ordinamento									
I ciclo			II ciclo			III ciclo			
Insegnamento/Attività formativa	crediti	tip	Insegnamento/Attività formativa	crediti	tip	Insegnamento/Attività formativa	crediti	tip	
Analisi matematica L-A	6	A	Elettronica L-A	6	B	Elettrotecnica L-A	6	C	
Geometria e algebra L-A	6	A	Fisica generale L-A	6	A	Fisica generale L-B	6	A	
Reti logiche L-A	6	B	Fondamenti di informatica L-A	6	A	Controlli automatici L-A	6	B	
			Comunicazioni elettriche L-A	6	B				
<b>tot. crediti</b>	18			24					18
<b>Tot. crediti</b>									<b>60</b>

2° anno (frequentato nell'A.A. 2001-02)										
Analisi matematica L-B	6	A	Calcolatori Elettronici L-A	6	B	Fondamenti di Informatica L-B	6	B		
Matematica applicata L-A	6	C	Propagazione L-A	6	B	Comunicazioni Elettriche L-B	6	B		
Economia e Organiz. Aziendale L-A	6	C	Elettronica L-B	6	B	Fondamenti di Chimica L-A	5	A		
Lingua straniera: Inglese L-A									3	E
Lingua straniera: Inglese L-B									3	F
<b>tot. crediti</b>	18			18					23	
<b>Tot. crediti</b>									<b>59</b>	

3° anno (A.A. 2002/2003) - specifico del percorso applicativo										
Misure Elettroniche L-A	6	B	Elettronica L-C	6	B	Tirocinio/(Cultura d'impresa L-A)	6	F		
Campi Elettromagnetici L-A	6	B	Elettronica dei Sistemi Digitali L-A	6	B					
Gestione della Qualità L-A / (Geometria e Algebra L-B + Calcolo Numerico L-A (#))	6	C (*)	Elettronica L-D/Elettronica Industriale L-A	6	B	Complementi di Fondamenti di Chimica (##)	1	A		
Laboratorio di Elettronica L-A				3	B					
A Scelta (**)									9	D
Prova finale									6	E
									18	
									21	
									22	
<b>Tot. crediti</b>									<b>61</b>	



(#) I moduli di Geometria e Algebra L-B e di Calcolo Numerico L-A sono consigliati agli studenti che intendono proseguire verso la Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica.

(##) Solo per gli studenti iscritti al secondo anno nell'A.A. 2001-2002 e che hanno sostenuto l'Esame di Fondamenti di Chimica L-A prima del 30 settembre 2002 il CFU viene assegnato con giudizio di idoneità.

(\*\*\*) Le attività formative della tipologia D sono scelte autonomamente dallo studente. La collocazione nei cicli dipende dagli insegnamenti scelti.

(\*) Gestione della Qualità L-A è di tipologia C. Geometria e Algebra L-B (tipologia A, 3 CFU) e Calcolo Numerico L-A (tipologia A, 3 CFU) sono attività formative integrative, pertanto vengono considerate tutte e 3 di tipologia C.

Si segnalano, per una eventuale scelta, i seguenti moduli disponibili nell'ambito della programmazione dei Piani degli Studi dei Corsi di laurea dell'Ingegneria dell'Informazione di Ingegneria Biomedica della sede di Cesena

		Ricerca Operativa L-A	6	Strumentazione Elettronica L-A	6
	3	Strumentazione biomedica L	6	Sistemi Operativi L-A	6
Reti di Telecomunicazioni L-A	6	Sistemi Informativi L-A	6	Controlli Automatici L-B	6
		Reti di Calcolatori L-A	6	Bioingegneria L-A	6
				Laboratorio di Elaborazione Numerica dei Segnali L-A	3
				Laboratorio di gestione informatizzata dei processi L	3

Suggerimenti per gli studenti che intendono proseguire per la Laurea Specialistica

Analisi Matematica L-C	6				
------------------------	---	--	--	--	--

Corso di laurea in

Classe

Facoltà

**Ingegneria Informatica**  
**9 – Ingegneria dell'Informazione**  
**Ingegneria – Sede di Cesena**

Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: **Prof. Antonio Natali**

*Obiettivi formativi qualificanti*

I laureati in Ingegneria informatica dovranno:

- Conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria.
- Saper identificare, formulare e risolvere i problemi dell'ingegneria dell'informazione utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati.
- Essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per l'analisi e la progettazione delle componenti hardware e software di un sistema per l'elaborazione dell'informazione.
- Essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne e interpretarne i dati.
- Conoscere i contesti aziendali e la cultura d'Impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi; avere capacità relazionali e decisionali.
- Essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, oltre che in italiano, anche in inglese.
- Possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze, ed essere capaci di apprendere attraverso lo studio individuale.

Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è mediamente superiore al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.



### Percorso tecnologico

I ciclo	cfu	tip	II ciclo	cfu	tip	III ciclo	cfu	tip
Ingegneria del Software L-A	6	B	Propagazione	6	C	Comunicazioni Elettriche L-B	6	B
Reti di Telecomunicazioni L-A	6	B	Elettronica dei sistemi digitali	6	C			
			Reti di Calcolatori L-A	6	B			
			Lingua straniera: Inglese L-A	3	E			
tot crediti	12			21			6	
<b>Totale crediti</b>								<b>54</b>

### A scelta

I ciclo	cfu	tip	II ciclo	cfu	tip	III ciclo	cfu	tip
Analisi Matematica L-C	6	D	Labor. di simulaz. e ottimizzaz. L	3	F	Lab. di gest. inform. dei processi L	3	F
Calcolo Numerico L-A	3	D				Cultura d'impresa L	6	F
Geometria e Algebra L-B	3	D				Tirocinio	6	F

**Corso di laurea specialistica in**

**Classe**

**Facoltà**

**Ingegneria Biomedica  
26/S – Ingegneria Biomedica  
Ingegneria – Sede di Cesena**

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Gianni Gnudi**

### Obiettivi formativi qualificanti

Il Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Biomedica ha l'obiettivo di fornire agli studenti una conoscenza approfondita dei contenuti scientifici e professionali necessari per operare negli ambiti multidisciplinari afferenti all'ingegneria biomedica. Il processo di formazione è quindi progettato in modo da delineare figure professionali polyvalenti in possesso di una solida cultura tecnico-biologica, basata sull'integrazione tra ingegneria dell'informazione, ingegneria industriale e scienze medico-biologiche. Su queste basi si intende costruire una figura professionale con le competenze interdisciplinari necessarie per inserirsi nel variegato mondo del lavoro e delle professioni, a cavallo tra tecnologie avanzate e problematiche medico-biologiche e, in particolare, in grado di:

- sviluppare metodi quantitativi per lo studio dei sistemi biologici e fisiologici, nonché per l'acquisizione e l'elaborazione di dati, segnali ed immagini di interesse biologico e medico,
- progettare dispositivi e sistemi diagnostici e terapeutici, organi artificiali e protesi, sistemi di supporto funzionale e ausili per disabili,
- contribuire al miglioramento dell'assistenza sanitaria, nelle strutture pubbliche e private, organizzando una gestione delle apparecchiature biomediche che ne garantisca un impiego sicuro, corretto ed economico.

Gli ambiti professionali tipici per i laureati specialisti in ingegneria biomedica sono quelli dell'innovazione e dello sviluppo della produzione, della progettazione avanzata, della pianificazione e della programmazione, della gestione di sistemi complessi, sia nella libera professione sia nelle imprese manifatturiere o di servizi sia nelle amministrazioni pubbliche. I laureati specialisti in ingegneria biomedica saranno in grado di interagire con i professionisti sanitari, nell'ambito



<b>(2) Esempio di Percorso n. 1 - Progettazione biomeccanica e di organi artificiali</b>								
			Meccanica dei tessuti biologici BS	6	B	Biomeccanica computazionale BS	6	B
			Organi artificiali BS	6	B	Biomeccanica della funzione motoria BS	6	B
tot crediti	0			12			12	
<b>Totale crediti</b>								<b>24</b>

<b>(3) Esempio di attività formativa a scelta guidata</b>								
Biomeccanica della riabilitazione BS								
<b>Totale crediti</b>								<b>6</b>

<b>(2) Esempio di Percorso n. 2 - Sistemi e segnali biologici</b>								
Bioimmagini BS	6	B	Sistemi intelligenti naturali e artificiali BS	6	B			
Elettronica BS o Telecomunicazioni BS							6	C
			Bioingegneria molecolare e cellulare BS	6	B			
tot. crediti	6			12			6	
<b>Totale crediti</b>								<b>24</b>

<b>(3) Esempio di attività formativa a scelta guidata</b>								
Informatica medica e reti di telemedicina BS								
<b>Totale crediti</b>								<b>6</b>

(a) Tabella delle mutazioni

Attività formativa	CFU	Mutua da	CFU
Analisi matematica BS	6	Analisi matematica L-C (LT Tlc)	6
Geometria e Algebra BS	3	Geometria e Algebra L-B	3
Analisi numerica BS-A	3	Calcolo numerico L-A	3
Propagazione BS	6	Propagazione L-A	6
Controlli automatici BS	6	Controlli automatici L-B	6

(b) Solo per lo studente che, nel corso di laurea triennale, non ha sostenuto questo esame.

(c) Solo per lo studente che, nel corso di laurea triennale, non ha sostenuto l'esame di Automazione e organizzazione sanitaria L-A, 5 CFU.

(d) Solo per lo studente che, nella laurea triennale, non ha sostenuto l'esame di Analisi matematica L-C, 5 CFU.

(e) Solo per lo studente che, nel corso di laurea triennale, non ha sostenuto l'esame di Calcolo numerico L-A, 3 CFU.

(f) Solo per lo studente che, nel corso di laurea triennale, non ha sostenuto l'esame di Geometria e Algebra L-B, 3 CFU.

(f) Solo per lo studente che, nel corso di laurea triennale, non ha sostenuto l'esame di Geometria e Algebra L-B, 3 CFU.

all'attività formativa Analisi numerica BS, 6 CFU.

**Corso di laurea specialistica in Ingegneria dei sistemi e delle tecnologie dell'informazione**  
**Classe 35/S – Ingegneria Informatica**  
**Facoltà Ingegneria – Sede di Cesena**

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof.**

*Obiettivi formativi qualificanti*

La Laurea Specialistica in Ingegneria dei Sistemi e delle Tecnologie dell'Informazione si pone l'obiettivo specifico di formare figure professionali nel settore ICT (Information and Communication Technology), per l'innovazione e lo sviluppo della produzione, della progettazione avanzata, della pianificazione e della programmazione, della gestione di servizi e sistemi complessi, sia nella libera professione sia nelle imprese manifatturiere o di servizi che nelle amministrazioni pubbliche.

I laureati specialistici in Ingegneria dei Sistemi e delle Tecnologie dell'Informazione avranno una conoscenza approfondita delle materie dell'ingegneria dell'informazione, con particolare riguardo ai settori riguardanti la progettazione avanzata delle applicazioni informatiche e dei servizi che fanno uso dei moderni sistemi di telecomunicazioni. Largo spazio sarà riservato all'apprendimento dei moderni metodi di progettazione assistita e di simulazione di processi e sistemi, nonché all'integrazione delle discipline dell'ingegneria dell'informazione (elettronica, informatica e telecomunicazioni).

Le attrezzature di laboratorio permetteranno di approfondire gli aspetti applicativi, anche sviluppando attività autonome o di gruppo.

Si organizzano, in accordo con enti pubblici e privati, stages e tirocini.

I ciclo	cfu	tip	II ciclo	cfu	tip	III ciclo	cfu	tip
<b>1° anno - Due insegnamenti propedeutici (Tabella A)</b>							12	
Metodi di Ottimizzazione	6	A	Teoria dell'informazione e codici LS	6	C	Sistemi di elaborazione dell'informazione LS	6	B
Sistemi Elettronici LS	6	C	Reti di telecomunicazioni LS	6	C	Sistemi informativi distribuiti LS	6	B
Economia della società dell'informazione LS	3	F				Tecniche e.m. per la localizzazione e il controllo ambientale LS	6	C
<b>Totale crediti</b>							<b>37</b>	

I ciclo	cfu	tip	II ciclo	cfu	tip	III ciclo	cfu	tip
<b>2° anno - Ipotesi di secondo anno</b>								
Sistemi di telecomunicazioni LS	6	C	Ingegneria dei sistemi software LS	6	B	Prova finale	12	E
Infrastrutture software LS	6	B	Sistemi e tecnologie per l'automazione LS	6	B			
Scelta libera							6	D
3 insegnamenti di percorso (Tabella B o Tabella C)							18	
Laboratorio di tecnologie dell'informazione e della sicurezza LS							3	F
<b>Totale crediti</b>							<b>33</b>	

Tabella A (insegnamenti propedeutici):

P1 (per chi possiede il titolo di L in Ingegneria Informatica)

Geometria e Algebra LS	3	A				Fondamenti di Comunicazioni Elettriche LS	6	C
Matematica Discreta LS	3	A						

P2 (per chi possiede il titolo di L in Ingegneria delle Telecomunicazioni - or. Gen.)

			Fondamenti di Reti di Calcolatori LS	6	B			
			Fondamenti di Sistemi Informativi LS	6	B			

P3 (per chi possiede il titolo di L in Ingegneria Elettronica - con in carriera Geom L-B + Calc. Num L-A)

			Fondamenti di Reti di Calcolatori LS	6	B	Fondamenti di Sistemi Operativi LS	6	B
--	--	--	--------------------------------------	---	---	------------------------------------	---	---

P4 (per chi possiede il titolo di L in Ingegneria Elettronica - con in carriera Sist. Op. L-A)

Geometria ed Algebra LS	3	A	Fondamenti di Reti di Calcolatori LS	6	B			
Matematica Discreta LS	3	A						

Tabella B (Percorso Tecnologico): 3 insegnamenti a scelta tra i seguenti:  
Microsistemi per acquisizione LS

**Elaborazione dei segnali multimediali LS****Antenne e componenti a RF LS****Elettronica per le TLC LS****Tabella C (Percorso Sistemistico-applicativo): 3 insegnamenti a scelta tra i seguenti****Metodi e Modelli per il supporto alle decisioni LS****Progetto di reti e sistemi di telecomunicazioni LS****Sistemi e applicazioni multimediali LS****Applicazioni e servizi Web LS**

## SEDE DI FORLÌ

**Corso di laurea in**  
**Classe**  
**Facoltà**

**Ingegneria Aerospaziale**  
**10 – Ingegneria Industriale**  
**Ingegneria – Sede di Forlì**

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Gianni Bertoni**

### *Obiettivi formativi qualificanti*

- I Laureati nei corsi di laurea della CLASSE "INGEGNERIA INDUSTRIALE" dovranno:
- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria;
  - conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi delle scienze dell'ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli di una specifica area dell'ingegneria industriale, nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere i problemi utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati;
  - essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per la progettazione di componenti, sistemi, processi;
  - essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne ed interpretarne i dati;
  - essere capaci di comprendere l'impatto delle soluzioni ingegneristiche nel contesto sociale e fisico-ambientale;
  - conoscere le proprie responsabilità professionali ed etiche;
  - conoscere i contesti aziendali ed e la cultura d'impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi;
  - conoscere i contesti contemporanei;
  - avere capacità relazionali e decisionali;
  - essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, in almeno una lingua dell'Unione Europea, oltre l'italiano;
  - possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze.

### *Obiettivi formativi specifici*

I laureati in Ingegneria Aerospaziale svolgeranno attività professionali in diversi ambiti, quali la progettazione assistita, la produzione, la gestione ed organizzazione, l'assistenza delle strutture tecnico-commerciali, sia nella libera professione che nelle imprese manifatturiere o di servizi e nelle amministrazioni pubbliche. In particolare la formazione riguarda figure professionali:

- aventi funzioni di responsabilità nel campo della pianificazione dell'uso degli aeromobili, della condotta del volo, del controllo del traffico aereo, della gestione della flotta aerea anche dal punto di vista strettamente tecnico (manutenzione, aggiornamento del velivolo e dei suoi impianti, ecc.);
- che possano essere inserite nelle aziende aeronautiche (o comunque a tecnologia avanzate) con responsabilità nella gestione del sistema di qualità, di sistemi di produzione, nel campo



della manutenzione e degli aeromobili;

- aventi conoscenza degli strumenti e delle procedure previste delle maggiori organizzazioni preposte alla aviazione civile con funzioni di comunicazioni, navigazione e sorveglianza.

I principali sbocchi occupazionali sono: industrie aeronautiche e spaziali; enti pubblici e privati per la sperimentazione in campo aerospaziale; aziende di trasporto aereo; enti per la gestione del traffico aereo; aeronautica militare e settori aeronautica di altre armi; industrie per la produzione di macchine ed apparecchiatura dove sono rilevanti l'aerodinamica e le strutture leggere.

### I Anno

CICLO	INSEGNAMENTO	CFU
1	Analisi Matematica L-A	6
	Fondamenti di informatica L	6
	Diritto della Navigazione Aerea L	5
	Lingua Inglese	3
2	Fisica generale L-A	6
	Geometria e Algebra L	6
	Analisi Matematica L-B	6
3	Fisica generale L-B	6
	Meccanica Razionale L	6
	Disegno tecnico aerospaziale L	6
<b>LABORATORIO</b>		
3	Laboratorio di Analisi Numerica	3
<b>TOTALE ESAMI = 9</b>		<b>TOTALE CFU = 59</b>

### II Anno

CICLO	INSEGNAMENTO	CFU
1	Fluidodinamica L	9
	Macchine L	5
2	Elettrotecnica L	6
	Comportamento meccanico dei materiali L	6
	Meccanica del volo L	9
3	Elettronica L	6
	Controlli automatici L	9
<b>Insegnamento caratterizzante (v. percorso)</b>		<b>5/6</b>
<b>TOTALE ESAMI = 8</b>		<b>TOTALE CFU = 55/56</b>

### III Anno

CICLO	INSEGNAMENTO	CFU
1	Economia e organizzazione aziendale L	6
	Aerodinamica degli aeromobili L	6
2	Impianti Aerospaziali L	5
	Costruzioni aeronautiche L	9
3	Propulsione aerospaziale L	9
<b>2° Insegnamento caratterizzante (v. percorso)</b>		<b>5/6</b>
<b>Insegnamenti a scelta (v. percorso)</b>		<b>10</b>
Tirocinio e/o equivalente attività di laboratorio o Addestramento al volo		6
Laboratorio a scelta (v. percorso)		3
Tesi di Laurea		6
<b>TOTALE ESAMI = 8</b>		<b>TOTALE CFU = 65/66</b>

### Parte di orientamento - Percorso di base

#### II Anno

CICLO	1° Insegnamento caratterizzante	CFU
1	Fondamenti di Chimica L	6

**III Anno**

CICLO	2° Insegnamento caratterizzante	CFU
1	Tecnologia delle costruzioni aeronautiche L	5
CICLO	Insegnamenti a scelta (D)	CFU
	Corsi a libera scelta per un totale di 10 CFU	10
CICLO	Laboratorio a scelta (1 su 3)	CFU
	Laboratorio di Aerodinamica sperimentale	3
	Progetto	3
	Laboratorio di propulsione	3

**Percorso progettazione  
II Anno**

CICLO	1° Insegnamento caratterizzante	CFU
1	Fondamenti di Chimica L	6

**III Anno**

CICLO	2° Insegnamento caratterizzante	CFU
1	Meccanica applicata alle macchine L	6
CICLO	Insegnamenti a scelta (D)	CFU
2	Disegno assistito dal calcolatore L	5
1	Tecnologia delle costruzioni aeronautiche L	5
CICLO	Laboratorio a scelta (1 su 3)	CFU
	Laboratorio di Aerodinamica sperimentale	3
	Progetto	3
	Laboratorio di propulsione	3

(Percorso da 181 crediti)

**Percorso qualità  
II Anno**

CICLO	1° Insegnamento caratterizzante	CFU
1	Fondamenti di Chimica L	6

**III Anno**

CICLO	2° Insegnamento caratterizzante	CFU
1	Scienza dei metalli L	5
CICLO	Insegnamenti a scelta (D)	CFU
1	Tecnologia delle costruzioni aeronautiche L	5
3	Affidabilità e sicurezza delle costruz. meccaniche L	5
CICLO	Laboratorio a scelta	CFU
	Laboratorio di Diagnostica strutturale	3

**Percorso operazioni di volo  
II Anno**

CICLO	1° Insegnamento caratterizzante	CFU
1	Meteorologia L	5

**III Anno**

CICLO	2° Insegnamento caratterizzante	CFU
3	Navigazione Aerea L	6
CICLO	Insegnamenti a scelta (D)	CFU
1	Avionica e sistemi di radiocomunicazione L	5
3	Tecnica della circolazione aerea L	5
CICLO	Laboratorio a scelta (1 su 3)	CFU
	Laboratorio di simulazione del volo	3

**Percorso spazio****II Anno**

CICLO	1° insegnamento caratterizzante	CFU
1	Fondamenti di Chimica L	6

**III Anno**

CICLO	2° insegnamento caratterizzante	CFU
3	Strumentazione aerospaziale L	6
CICLO	Insegnamenti a scelta (D)	CFU
1	Tecnologia delle costruzioni aeronautiche L	5
3	Dinamica del volo spaziale L	5
CICLO	Laboratorio	CFU
	Laboratorio di propulsione	3

(Percorso da 181 crediti)

**Percorso sistemi satellitari e controllo del traffico aereo****II Anno**

CICLO	1° insegnamento caratterizzante	CFU
3	Dinamica del volo spaziale L	5

**III Anno**

CICLO	2° insegnamento caratterizzante	CFU
3	Strumentazione aerospaziale L	6
CICLO	Insegnamenti a scelta (D)	CFU
1	Avionica e sistemi di radiocomunicazione L	5
3	Tecnica della circolazione aerea L	5
CICLO	Laboratorio	CFU
	Laboratorio di simulazione del volo	3

**Corso di laurea in**  
**Classe**  
**Facoltà**

**Ingegneria Meccanica**  
**10 - Ingegneria Industriale**  
**Ingegneria - Sede di Forlì**

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Vincenzo Dal Re**

**Obiettivi formativi qualificanti**

I laureati nei corsi di laurea della CLASSE "INGEGNERIA INDUSTRIALE" dovranno:

- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria;
- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi delle scienze dell'ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli di una specifica area dell'ingegneria industriale, nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere i problemi utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati;
- essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per la progettazione di componenti, sistemi, processi;
- essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne ed interpretarne i dati;
- essere capaci di comprendere l'impatto delle soluzioni ingegneristiche nel contesto sociale e fisico-ambientale;

- conoscere le proprie responsabilità professionali ed etiche;
- conoscere i contesti aziendali ed e la cultura d'impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi;
- conoscere i contesti contemporanei;
- avere capacità relazionali e decisionali;
- essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, in almeno una lingua dell'Unione Europea, oltre l'italiano;
- possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze.

Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è pari almeno al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

### Obiettivi formativi specifici

I laureati in Ingegneria Meccanica verranno a conoscenza degli aspetti metodologici e operativi delle Scienze di base e dell'Ingegneria, con particolare riguardo agli aspetti operativi legati alla Meccanica, senza trascurare gli aspetti generali ad essa collegati. La preparazione di tipo teorico sarà supportata da esercitazioni pratiche e di laboratorio e tenderà a sviluppare le capacità di sviluppo autonomo di attività progettuali ed organizzative. Particolare importanza sarà attribuita all'attività di tirocinio presso aziende del territorio, con le quali esiste già oggi un'intensa collaborazione formalizzata da una convenzione quadro. In alcuni settori specifici, la collaborazione con le aziende si estenderà anche al settore della docenza.

I laureati in Ingegneria Meccanica svolgeranno attività professionali in diversi ambiti, quali la progettazione assistita, la produzione, la gestione ed organizzazione, l'assistenza delle strutture tecnico-commerciali, sia nella libera professione che nelle imprese manifatturiere o di servizi e nelle amministrazioni pubbliche.

I principali sbocchi occupazionali, per l'Area dell'ingegneria Meccanica sono: industrie meccaniche ed elettromeccaniche; aziende ed enti per la conversione dell'energia; imprese impiantistiche; industrie per l'automazione e la robotica; imprese manifatturiere in generale per la produzione, l'installazione ed il collaudo, la manutenzione e la gestione di macchine, linee e reparti di produzione, sistemi complessi; industrie legate al settore della produzione di manufatti in legno.

### Percorso 1 L: Macchine e automazione impianti I Anno

CICLO	Insegnamento	CFU
I	Analisi matematica L - A	6
	Fondamenti di informatica L	6
	Fondamenti di Chimica L	6
	Lingua Inglese	3
II	Fisica generale L - A	6
	Geometria e algebra L	6
	Analisi matematica L - B	6
III	Laboratorio di analisi numerica L	3
	Fisica generale L - B	6
	Meccanica Razionale L	6
	Disegno tecnico industriale L	6
<b>Crediti I Anno</b>		<b>60</b>

**II Anno**

CICLO	Insegnamento	CFU
I	Meccanica applicata alle macchine L	6
	Meccanica dei fluidi L	6
	Economia e organizzazione aziendale L	6
II	Elettrotecnica L	6
	Disegno assistito dal computer L	5
	Comportamento meccanico dei materiali L	6
	Fisica tecnica L	6
III	Tecnologia meccanica L - A	6
	Termofluidodinamica applicata L	5
	Tecnica delle costruzioni meccaniche L	5
<b>Crediti II Anno</b>		<b>57</b>

**III Anno**

CICLO	Insegnamento	CFU
I	Sistemi energetici L	6
	Meccanica degli azionamenti L	6
	Tecnologia meccanica L - B	5
II	Azionamenti elettrici L	5
	Impianti industriali L	6
III	Macchine L	5
	Impianti meccanici L	6
<b>Almeno due insegnamenti a scelta fra i seguenti (Minimo 9 CFU)</b>		
I	Misure meccaniche e termiche L (4 CFU)	9
	Laboratorio di misure meccaniche e termiche L (1 CFU)	
	Strumentazione e automazione industriale L (5 CFU)	
II	Sperimentazione sulle macchine L (5 CFU)	9
III	Attività obbligatorie di Tipologia F (max 9 CFU) (Nota 1)	
	Tirocinio L (6-9 CFU)	9
	Laboratorio di termofluidodinamica L (3 CFU)	6
	Prova finale L	6
<b>Crediti III Anno</b>		<b>63</b>
<b>Crediti totali</b>		<b>180</b>

CFU per tipologia: A=51, B=84, C=18, D=9, E=9, F=9

(Nota 2) Lo studente può scegliere fra due possibilità:

a) Tirocinio da 9 CFU (225 ore)

b) Tirocinio da 6 CFU (150 ore) + Laboratorio di termofluidodinamica L (3 CFU)

**Percorso 2 L: Affidabilità e qualità****I Anno**

CICLO	Insegnamento	CFU
I	Analisi matematica L - A	6
	Fondamenti di informatica L	6
	Fondamenti di Chimica L	6
	Lingua Inglese	3
II	Fisica generale L - A	6
	Geometria e algebra L	6
	Analisi matematica L - B	6
III	Laboratorio di analisi numerica L	3
	Fisica generale L - B	6
	Meccanica Razionale L	6
	Disegno tecnico industriale L	6
<b>Crediti I Anno</b>		<b>60</b>

**II Anno**

CICLO	Insegnamento	CFU
I	Meccanica applicata alle macchine L	6
	Meccanica dei fluidi L	6
	Economia e organizzazione aziendale L	6
II	Elettrotecnica L	6
	Disegno assistito dal computer L	5
	Comportamento meccanico dei materiali L	6
	Fisica tecnica L	6
III	Tecnologia meccanica L - A	6
	Termofluidodinamica applicata L	5
	Tecnica delle costruzioni meccaniche L	5
<b>Crediti II Anno</b>		<b>57</b>

**III Anno**

CICLO	Insegnamento	CFU
I	Sistemi energetici L	6
	Meccanica degli azionamenti L	6
	Tecnologia meccanica L - B	5
II	Azionamenti elettrici L	5
	Impianti industriali L	6
III	Macchine L	5
	Impianti meccanici L	6
<b>Almeno due insegnamenti a scelta fra i seguenti (Minimo 9 CFU)</b>		
I	Diagnostica dei sistemi meccanici L (5 CFU)	9
	Diagnostica strutturale L (4 CFU)	
	Laboratorio di diagnostica delle strutture L (1 CFU)	
II	Affidabilità e sicurezza delle costruz. Meccaniche L (5 CFU)	9
III	Attività obbligatorie di Tipologia F (max 9 CFU) (Nota 1)	
	Tirocinio L (6-9 CFU)	9
	Laboratorio di termofluidodinamica L (3 CFU)	6
	Prova finale L	6
<b>Crediti III Anno</b>		<b>63</b>
<b>Crediti totali</b>		<b>180</b>

(Nota 2) Lo studente può scegliere fra due possibilità:

a) Tirocinio da 9 CFU (225 ore)

b) Tirocinio da 6 CFU (150 ore) + Laboratorio di termofluidodinamica L (3 CFU)

**Percorso 3 L: Materiali e lavorazioni****I Anno**

CICLO	Insegnamento	CFU
I	Analisi matematica L - A	6
	Fondamenti di informatica L	6
	Fondamenti di Chimica L	6
	Lingua Inglese	3
II	Fisica generale L - A	6
	Geometria e algebra L	6
	Analisi matematica L - B	6
III	Laboratorio di analisi numerica L	3
	Fisica generale L - B	6
	Meccanica Razionale L	6
	Disegno tecnico Industriale L	6
<b>Crediti I Anno</b>		<b>60</b>

**II Anno**

CICLO	Insegnamento	CFU
I	Meccanica applicata alle macchine L	6
	Meccanica dei fluidi L	6
	Economia e organizzazione aziendale L	6
II	Elettrotecnica L	6
	Disegno assistito dal calcolatore L	5
	Comportamento meccanico dei materiali L	6
	Fisica tecnica L	6
III	Tecnologia meccanica L - A	6
	Termodinamica applicata L	5
	Tecnica delle costruzioni meccaniche L	5
<b>Crediti II Anno 57</b>		

**III Anno**

CICLO	Insegnamento	CFU
I	Sistemi energetici L	6
	Meccanica degli azionamenti L	6
	Tecnologia meccanica L - B	5
II	Azionamenti elettrici L	5
	Impianti industriali L	6
III	Macchine L	5
	Impianti meccanici L	6
<b>due insegnamenti a scelta</b>		
I	Scienza dei metalli L (*)	5
I	Tecnologia delle costruzioni aeronautiche L (*)	5
<b>Attività obbligatorie di Tipologia F (max 9 CFU) (Nota 1)</b>		
	Tirocinio L (6-9 CFU)	9
	Laboratorio di termodinamica L (3 CFU)	
	Prova finale L	6
<b>Crediti III Anno 64</b>		
<b>Crediti totali 161</b>		

(\*) Mutuato dal Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

(Nota 2) Lo studente può scegliere fra due possibilità:

a) Tirocinio da 9 CFU (225 ore)

b) Tirocinio da 6 CFU (150 ore) + Laboratorio di termodinamica L (3 CFU)

**Percorso 4 L: Applicazioni computazionali****I Anno**

CICLO	Insegnamento	CFU
I	Analisi matematica L - A	6
	Fondamenti di Informatica L	6
	Fondamenti di Chimica L	6
	Lingua Inglese	3
II	Fisica generale L - A	6
	Geometria e algebra L	6
	Analisi matematica L - B	6
III	Laboratorio di analisi numerica L	3
	Fisica generale L - B	6
	Meccanica Razionale L	6
	Disegno tecnico Industriale L	6
<b>Crediti I Anno 60</b>		

**II Anno**

CICLO	Insegnamento	CFU
I	Meccanica applicata alle macchine L	6
	Meccanica dei fluidi L	6
	Economia e organizzazione aziendale L	6
II	Elettrotecnica L	6
	Disegno assistito dal calcolatore L	5
	Comportamento meccanico dei materiali L	6
	Fisica tecnica L	6
III	Tecnologia meccanica L - A	6
	Termofluidodinamica applicata L	5
	Tecnica delle costruzioni meccaniche L	5
<b>Crediti II Anno</b>		<b>57</b>

**III Anno**

CICLO	Insegnamento	CFU
I	Sistemi energetici L	6
	Meccanica degli azionamenti L	6
	Tecnologia meccanica L - B	5
II	Azionamenti elettrici L	5
	Impianti industriali L	6
III	Macchine L	5
	Impianti meccanici L	6
2 insegnamenti a scelta (Nota 1)		
I	Metodi numerici per l'ingegneria (V.O.)	6
III	Calcolo numerico e programmazione (sem.) (V.O.)	6
Attività obbligatorie di Tipologia F (max 9 CFU)		
	Tirocinio L (6-9 CFU)	9
	Laboratorio di termofluidodinamica L (3 CFU)	
	Prova finale L	6
<b>Crediti III Anno</b>		<b>66</b>
<b>Crediti totali</b>		<b>183</b>

(Nota 1) Gli studenti che scelgono questo Percorso dovranno seguire, nella Laurea Specialistica, il Percorso n. 5 LS che prevede l'utilizzazione dei tre CFU in esubero, acquisiti nella Laurea, consentendo di completare il percorso con 300 CFU totali.

**Corso di laurea specialistica in**  
**Classe**  
**Facoltà**

**Ingegneria Aerospaziale**  
**25/S - Ingegneria Aerospaziale**  
**Ingegneria - Sede di Forlì**

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Gianni Bertoni**

*Obiettivi formativi qualificanti*

I laureati nel corso di laurea specialistica della classe in INGEGNERIA AEROSPAZIALE devono:

- conoscere approfonditamente gli aspetti teorico-scientifici della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria complessi o che richiedono un approccio interdisciplinare;
- conoscere approfonditamente gli aspetti teorico-scientifici dell'ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli dell'ingegneria aerospaziale ed astronautica, nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere, anche in modo innovativo, problemi complessi o che richiedono un approccio interdisciplinare;



- essere capaci di ideare, pianificare, progettare e gestire sistemi, processi e servizi complessi e/o innovativi;
- essere capaci di progettare e gestire esperimenti di elevata complessità;
- essere dotati di conoscenze di contesto e di capacità trasversali;
- avere conoscenze nel campo dell'organizzazione aziendale (cultura d'impresa) e dell'etica professionale;
- essere in grado di utilizzare fluentemente, in forma scritta e orale, almeno una lingua dell'Unione Europea oltre l'italiano, con riferimento anche ai lessici disciplinari.

Il tempo riservato allo studio individuale o ad altre attività formative di tipo individuale sarà pari almeno al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

Il corso di laurea specialistica culminerà in una importante attività di progettazione, che si conclude con un elaborato che dimostri la padronanza degli argomenti, la capacità di operare in modo autonomo e un buon livello di capacità di comunicazione.

Si organizzano, in accordo con enti pubblici e privati, stages e tirocini.

Il laureato specializzato in Ingegneria Aerospaziale deve essere in grado di applicare gli strumenti analitici e le conoscenze relative alle tecnologie avanzate tipiche del settore anche ad altri comparti di punta dell'ingegneria.

La figura professionale dovrà esser in grado di produrre modelli fisico/matematici capaci di analizzare caratteristiche e prestazioni degli aeromobili, la struttura dell'ambiente fisico e della situazione meteorologica, di studiare metodi avanzati per la regolazione e sorveglianza della circolazione aerea mediante sistemi di elaborazione e trasmissione delle informazioni in ambiente aerospaziale.

Gli ambiti professionali tipici per i laureati specialisti sono quelli dell'innovazione e dello sviluppo della produzione, della progettazione avanzata, della pianificazione e della programmazione, della gestione di sistemi complessi, sia nella libera professione sia nelle imprese manifatturiere o di servizi e nelle amministrazioni pubbliche. I laureati specialisti potranno trovare occupazione presso industrie aeronautiche e spaziali; enti pubblici e privati per la sperimentazione in campo aerospaziale; aziende di trasporto aereo; enti per la gestione del traffico aereo; aeronautica militare e settori aeronautica di altre armi; industrie per la produzione di macchine e apparecchiatura dove sono rilevanti l'aerodinamica e le strutture leggere

### Parte comune a tutti i percorsi I Anno (IV)

CICLO	Insegnamenti in comune	CFU
1	Metodi matematici per l'ingegneria LS	6
	Aerodinamica applicata LS	9
	Dinamica del volo LS	9
2	Strutture e materiali aerospaziali LS	9
	Ricerca operativa LS	6
3	Metodi numerici per l'ingegneria LS	6
	Controllo automatico del volo LS	9
	Insegnamento caratterizzante (v. percorso)	5/6
	<b>TOTALE ESAMI = 8</b>	<b>TOTALE CFU</b>
		<b>60</b>

**II Anno (V)**

CICLO	Insegnamenti	CFU
1	Fondamenti e metodi della progettazione per l'industria aerospaziale LS	6
	Sistemi di propulsione avanzati LS	6
	Aeromobili a decollo verticale LS	6
2	<b>Ulteriori insegnamenti caratterizzanti (v. percorso)</b>	<b>15</b>
	<b>INSEGNAMENTO A SCELTA (v.percorso)</b>	
	Tirocinio e/o equivalente attività di laboratorio o Addestramento al volo	6
	Progetto e/o Laboratori	3
	Tesi di Laurea	12
	<b>TOTALE ESAMI = 6</b>	<b>TOTALE CFU = 60</b>

**Percorso di base****I Anno**

CICLO	1° insegnamento caratterizzante	CFU
3	Modelli fisico-matematici per l'ingegneria industriale LS	6

**II Anno**

CICLO	1° insegnamento caratterizzante	CFU
3	Modelli fisico-matematici per l'ingegneria industriale LS	6
2	Fluidodinamica computazionale LS	8
	Veicoli aerei, navali e terrestri ad alte prestazioni LS	6
	<b>Insegnamenti a scelta (D)</b>	<b>CFU</b>
	<b>1 insegnamento libero</b>	<b>6</b>
	<b>Laboratorio a scelta (1 su 3)</b>	<b>CFU</b>
	Laboratorio di Aerodinamica sperimentale	3
	Progetto	3
	Laboratorio di propulsione	3

**Percorso progettazione****I Anno**

CICLO	1° insegnamento caratterizzante	CFU
3	Aeroelasticità LS	6

**II Anno**

CICLO	Ulteriori insegnamenti caratterizzanti	CFU
2	Fluidodinamica computazionale LS	9
	Progetto generale di aeromobili LS	6
	<b>Insegnamenti a scelta (D)</b>	<b>CFU</b>
2	Veicoli aerei, navali e terrestri ad alte prestazioni LS	6
	<b>Laboratorio a scelta (1 su 3)</b>	<b>CFU</b>
	Laboratorio di Aerodinamica sperimentale	3
	Progetto	3
	Laboratorio di propulsione	3

**Percorso sistemi di navigazione e spazio****I Anno**

CICLO	1° insegnamento caratterizzante	CFU
3	Elettronica dei sistemi digitali LS	6

## II Anno

CICLO	Ulteriori insegnamenti caratterizzanti	CFU
2	Sistemi di guida e navigazione aerospaziali LS	9
	Sistemi di telecomunicazione LS	6
CICLO	Insegnamenti a scelta (D)	CFU
2	Trasporti aerei LS	6
CICLO	Laboratorio	CFU
	Laboratorio di Controllo automatico del volo	3

**Corso di laurea specialistica in**

**Classe**

**Facoltà**

**Ingegneria Meccanica**

**36/S – Ingegneria Meccanica**

**Ingegneria – Sede di Forlì**

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Vincenzo Dal Re**

### *Obiettivi formativi qualificanti*

I laureati nei corsi di laurea della CLASSE "INGEGNERIA INDUSTRIALE" dovranno:

- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria;
- conoscere adeguatamente gli aspetti metodologico-operativi delle scienze dell'ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli di una specifica area dell'ingegneria industriale, nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere i problemi utilizzando metodi, tecniche e strumenti aggiornati;
- essere capaci di utilizzare tecniche e strumenti per la progettazione di componenti, sistemi, processi;
- essere capaci di condurre esperimenti e di analizzarne ed interpretarne i dati;
- essere capaci di comprendere l'impatto delle soluzioni ingegneristiche nel contesto sociale e fisico-ambientale;
- conoscere le proprie responsabilità professionali ed etiche;
- conoscere i contesti aziendali ed e la cultura d'impresa nei suoi aspetti economici, gestionali e organizzativi;
- conoscere i contesti contemporanei;
- avere capacità relazionali e decisionali;
- essere capaci di comunicare efficacemente, in forma scritta e orale, in almeno una lingua dell'Unione Europea, oltre l'italiano;
- possedere gli strumenti cognitivi di base per l'aggiornamento continuo delle proprie conoscenze.

Il tempo riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale è pari almeno al 50 per cento dell'impegno orario complessivo, con possibilità di percentuali minori per singole attività formative ad elevato contenuto sperimentale o pratico.

### *Obiettivi formativi specifici*

I laureati in Ingegneria Meccanica verranno a conoscenza degli aspetti metodologici e operativi delle Scienze di base e dell'Ingegneria, con particolare riguardo agli aspetti operativi legati

alla Meccanica, senza trascurare gli aspetti generali ad essa collegati. La preparazione di tipo teorico sarà supportata da esercitazioni pratiche e di laboratorio e tenderà a sviluppare le capacità di sviluppo autonomo di attività progettuali ed organizzative. Particolare importanza sarà attribuita all'attività di tirocinio presso aziende del territorio, con le quali esiste già oggi un'intensa collaborazione formalizzata da una convenzione quadro. In alcuni settori specifici, la collaborazione con le aziende si estenderà anche al settore della docenza.

I laureati in Ingegneria Meccanica svolgeranno attività professionali in diversi ambiti, quali la progettazione assistita, la produzione, la gestione ed organizzazione, l'assistenza delle strutture tecnico-commerciali, sia nella libera professione che nelle imprese manifatturiere o di servizi e nelle amministrazioni pubbliche.

I principali sbocchi occupazionali, per l'Area dell'ingegneria Meccanica sono: industrie meccaniche ed elettromeccaniche; aziende ed enti per la conversione dell'energia; imprese impiantistiche; industrie per l'automazione e la robotica; imprese manifatturiere in generale per la produzione, l'installazione ed il collaudo, la manutenzione e la gestione di macchine, linee e reparti di produzione, sistemi complessi; industrie legate al settore della produzione di manufatti in legno.

### Percorso 1 LS: Progettazione meccanica avanzata I Anno

CICLO	Insegnamenti Obbligatori	CFU
I	Tecnologie di chimica applicata LS	6
	Metodi matematici per l'ingegneria LS	6
	Conversione dell'energia LS	6
II	Controlli automatici LS	6
	Macchine LS	6
	Meccanica dei fluidi LS	6
III	Metodi numerici per l'ingegneria LS	6
	Meccanica applicata alle macchine LS	6
	Meccanica dei solidi e delle strutture LS	6
<b>Crediti I Anno</b>		<b>54</b>

### II Anno

CICLO	Insegnamenti Obbligatori	CFU
I	Principi e metodologie della progettazione meccanica LS	6
	Impianti meccanici LS	6
	Elementi di diritto commerciale LS	6
II	Dinamica delle macchine e dei sistemi meccanici LS	6
III	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici LS	6
<b>Due insegnamenti a scelta tra i seguenti (Nota 1)</b>		
I	Meccanica dei robot LS (6 CFU)	12
II	Progettaz. Mecc. con materiali non convenzionali LS (6 CFU) Costruzione di macchine automatiche e robot LS (6 CFU)	
	<b>Crediti a scelta libera</b>	6
III	Tirocinio LS	6
	Prova finale LS	12
<b>Crediti II Anno</b>		<b>66</b>
<b>Crediti totali</b>		<b>120</b>

(Nota 1) Al momento della scelta lo studente dovrà indicare due insegnamenti del Percorso prescelto che divengono obbligatori. Il terzo insegnamento del Percorso potrà essere scelto ma potrà anche essere sostituito liberamente con qualunque altra attività offerta dall'Ateneo, con un numero di CFU non inferiore a 6.

## Percorso 2 LS: Sistemi di conversione dell'energia I Anno

CICLO	Insegnamenti Obbligatori	CFU
I	Tecnologie di chimica applicata LS	6
	Metodi matematici per l'ingegneria LS	6
	Conversione dell'energia LS	6
II	Controlli automatici LS	6
	Macchine LS	6
	Meccanica dei fluidi LS	6
III	Metodi numerici per l'ingegneria LS	6
	Meccanica applicata alle macchine LS	6
	Meccanica dei solidi e delle strutture LS	6
<b>Crediti I Anno</b>		<b>54</b>

## II Anno

CICLO	Insegnamenti Obbligatori	CFU
I	Principi e metodologie della progettazione meccanica LS	6
	Impianti meccanici LS	6
	Elementi di diritto commerciale LS	6
II	Dinamica delle macchine e dei sistemi meccanici LS	6
III	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici LS	6
<b>Due insegnamenti a scelta tra i seguenti (Nota 1)</b>		
I	Impianti termotecnici LS (6 CFU)	12
II	Controllo dei sistemi energetici LS (6 CFU)	
	Motori a combustione interna LS (6 CFU)	
	<b>Crediti a scelta libera</b>	6
III	Tirocinio LS	6
	Prova finale LS	12
<b>Crediti II Anno</b>		<b>66</b>
<b>Crediti totali</b>		<b>120</b>

(Nota 1) Al momento della scelta lo studente dovrà indicare due insegnamenti del Percorso prescelto che divengono obbligatori. Il terzo insegnamento del Percorso potrà essere scelto ma potrà anche essere sostituito liberamente con qualunque altra attività offerta dall'Ateneo, con un numero di CFU non inferiore a 6.

## Percorso 3 LS: Impianti e produzione I Anno

CICLO	Insegnamenti Obbligatori	CFU
I	Tecnologie di chimica applicata LS	6
	Metodi matematici per l'ingegneria LS	6
	Conversione dell'energia LS	6
II	Controlli automatici LS	6
	Macchine LS	6
	Meccanica dei fluidi LS	6
III	Metodi numerici per l'ingegneria LS	6
	Meccanica applicata alle macchine LS	6
	Meccanica dei solidi e delle strutture LS	6
<b>Crediti I Anno</b>		<b>54</b>

## II Anno

CICLO	Insegnamenti Obbligatori	CFU
I	Principi e metodologie della progettazione meccanica LS	6
	Impianti meccanici LS	6
	Elementi di diritto commerciale LS	6
II	Dinamica delle macchine e dei sistemi meccanici LS	6
III	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici LS	6
<b>Due insegnamenti a scelta tra i seguenti (Nota 1)</b>		
I	Sicurezza dei sistemi di produzione LS (6 CFU)	12
II	Impianti industriali LS (6 CFU) Logistica industriale LS (6 CFU)	
	<b>Crediti a scelta libera</b>	6
III	Tirocinio LS	6
	Prova finale LS	12
<b>Crediti II Anno</b>		<b>66</b>
<b>Crediti totali</b>		<b>120</b>

(Nota 1) Al momento della scelta lo studente dovrà indicare due insegnamenti del Percorso prescelto che divengono obbligatori. Il terzo insegnamento del Percorso potrà essere scelto ma potrà anche essere sostituito liberamente con qualunque altra attività offerta dall'Ateneo, con un numero di CFU non inferiore a 6.

## Percorso 4 LS: Applicazioni computazionali avanzate

### I Anno

CICLO	Insegnamenti Obbligatori	CFU
I	Tecnologie di chimica applicata LS	6
	Metodi matematici per l'ingegneria LS	6
	Conversione dell'energia LS	6
II	Controlli automatici LS	6
	Macchine LS	6
	Meccanica dei fluidi LS	6
III	Metodi numerici per l'ingegneria LS	6
	Meccanica applicata alle macchine LS	6
	Meccanica dei solidi e delle strutture LS	6
<b>Crediti I Anno</b>		<b>54</b>

### II Anno

CICLO	Insegnamenti Obbligatori	CFU
I	Principi e metodologie della progettazione meccanica LS	6
	Impianti meccanici LS	6
	Elementi di diritto commerciale LS	6
II	Dinamica delle macchine e dei sistemi meccanici LS	6
III	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici LS	6
<b>Due insegnamenti a scelta tra i seguenti (Nota 1)</b>		
I	Modelli fisico-matematici per l'ingegneria industr. LS (6 CFU)	12
II	Applicazioni industriali dei plasmi LS (6 CFU) Termodinamica avanzata LS (6 CFU)	
	<b>Crediti a scelta libera</b>	6
III	Tirocinio LS	6
	Prova finale LS	12
<b>Crediti II Anno</b>		<b>66</b>
<b>Crediti totali</b>		<b>120</b>

(Nota 1) Al momento della scelta lo studente dovrà indicare due insegnamenti del Percorso prescelto che divengono obbligatori. Il terzo insegnamento del Percorso potrà essere scelto ma potrà anche essere sostituito liberamente con qualunque altra attività offerta dall'Ateneo, con un numero di CFU non inferiore a 6.

**Percorso 5 LS: per studenti provenienti dal Percorso 4 L (con 183 CFU) che hanno già sostenuto “Metodi matematici per l’ing. (V.O.)” e “Calcolo numerico e programmazione (sem) V.O.”**

### I Anno

CICLO	Insegnamenti Obbligatori	CFU
I	Tecnologie di chimica applicata LS	6
	Conversione dell'energia LS	6
II	Modelli fisico-matematici per l'ingegneria industriale LS	6
	Controlli automatici LS	6
	Macchine LS	6
	Meccanica dei fluidi LS	6
III	Termofluidodinamica avanzata LS	6
	Meccanica applicata alle macchine LS	6
	Meccanica dei solidi e delle strutture LS	6
<b>Crediti I Anno</b>		<b>64</b>

### II Anno

CICLO	Insegnamenti Obbligatori	CFU
I	Principi e metodologie della progettazione meccanica LS	6
	Impianti meccanici LS	6
II	Dinamica delle macchine e dei sistemi meccanici LS	6
III	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici LS	6
	Elementi di diritto commerciale LS	6
<b>Due Insegnamenti</b>		
II	Applicazioni industriali dei plasmi LS	6
III	Progettazione meccanica con materiali non convenzionali LS	6
	<b>Crediti a scelta libera</b>	6
III	Tirocinio LS	6
	Prova finale LS	12
<b>Crediti II Anno</b>		<b>66</b>
<b>Crediti totali</b>		<b>120</b>

CFU per tipologia: A=6, B=48, C=42, D=6, E=12, F=6

### Crediti a scelta libera consigliati:

	CFU di tipologia D) residui dalla laurea	3
<b>Un Laboratorio a scelta fra i seguenti</b>		
	Laboratorio di Aerodinamica sperimentale	3
	Laboratorio di Propulsione	3

## VECCHI ORDINAMENTI

### Per gli studenti immatricolati fino all'a.a. 2000-2001

A partire dall'anno accademico 2001/2002 è entrata in vigore la riforma degli ordinamenti universitari secondo quanto disposto dal D.M. 509/99, pertanto non sarà più possibile effettuare immatricolazioni al primo anno per i corsi di studi sottoindicati, regolamentati dal D.M. 22/5/1995.

#### Sede di Cesena

Diploma Universitario in Ingegneria delle Telecomunicazioni

Diploma Universitario in Ingegneria Elettronica

Diploma Universitario in Ingegneria Informatica

#### Sede di Forlì

Diploma Universitario in Ingegneria Aerospaziale

Diploma Universitario in Ingegneria Meccanica

Laurea in Ingegneria Aerospaziale (Quinquennale)

Laurea in Ingegneria Meccanica (Quinquennale)

## INFORMAZIONI GENERALI

#### Iscrizioni ad anni successivi al primo

Agli studenti iscritti ai corsi di studio indicati nel presente fascicolo è assicurata la conclusione del corso ed il rilascio del relativo titolo. (art. 35, comma 1-R.d.A)

A partire dall'anno accademico 2001/2002 sono stati eliminati tutti gli sbarramenti previsti per l'iscrizione agli anni successivi al primo per i corsi di studio indicati nel presente fascicolo (art. 35, comma 3-R.d.A.)

Per gli studenti in corso l'iscrizione deve avvenire entro il 1 ottobre 2002.

L'iscrizione effettuata oltre tale data e comunque entro il 31/12/2002 comporterà l'obbligo al pagamento dell'indennità di mora.

Per gli studenti fuori corso l'iscrizione deve avvenire entro il 31 dicembre 2002.

Il pagamento effettuato dopo il 31 dicembre 2002 comporta il pagamento dell'indennità di mora di € 59,39

Chi ha titolo per iscriversi in corso, lo fa anche se paga la prima rata di tasse dopo il 31 dicembre. **Attenzione!** Sarà, però, assoggettata al pagamento di una **ulteriore** indennità di mora di € 178,17

**In caso di mancato ricevimento del previsto bollettino (MAV), utilizzabile presso qualsiasi istituto bancario, lo studente è tenuto a presentarsi presso gli sportelli della segreteria studenti per il ritiro degli apposti moduli necessari al pagamento entro le scadenze previste.**

#### Passaggi ad altro Corso di Studi-Alma Mater Studiorum-Università di Bologna

Lo studente può passare ad altro corso di studi dell'Università degli Studi di Bologna, presentando domanda alla Segreteria studenti, redatta su apposito modulo in marca da bollo, entro il 29



novembre 2002 per i corsi a libero accesso o nel periodo e con le modalità indicate nel bando di concorso per quelli a numero programmato.

Lo studente è **tenuto** al versamento della prima rata di tasse, qualora non sia stata già versata, dell'indennità di congedo e a regolarizzare eventuali posizioni debitorie.

### Trasferimenti ad altro ateneo

Lo studente può trasferirsi presentando domanda alla Segreteria studenti, redatta su apposito modulo in marca da bollo, entro il 29 novembre 2002, fatte salve eventuali diverse scadenze previste dai bandi limitatamente ai trasferimenti su corsi a numero programmato.

Lo studente **non è tenuto** al pagamento della prima rata di tasse per l'anno accademico successivo: E' tenuto, invece, a versare un'indennità di congedo e a regolarizzare eventuali posizioni debitorie.

### Tasse Anno Accademico 2002-2003

L'iscrizione all'anno accademico è subordinata al pagamento delle tasse universitarie, da versare in due rate annue. La prima rata deve essere corrisposta al momento dell'immatricolazione e/o dell'iscrizione, nei termini previsti; la seconda entro il 31 marzo.

L'importo delle tasse varia a seconda del corso di studio (vedi: [www.unibo.it](http://www.unibo.it)), dello stato dello studente (in corso o fuori corso) e dei diversi servizi erogati.

Per gli studenti che risulteranno assegnatari di una fascia di contribuzione ridotta, secondo i relativi bandi pubblicati dall'Arstud e dall'Università di Bologna (vedi ([www.arstud.unibo.it](http://www.arstud.unibo.it)), saranno stabiliti importi differenziati.

Nell'importo complessivo delle tasse, sono comprese le seguenti voci: **tassa di iscrizione** (contributo definito per legge che si deve pagare per poter usufruire di un servizio), **assicurazione studenti** (tutti gli studenti dell'Università di Bologna sono assicurati contro gli infortuni), **bollo**, **tassa regionale per il diritto allo studio** (contributo richiesto dalla Regione Emilia-Romagna per incrementare gli aiuti forniti allo studio), **contributo** (è ciò che si deve pagare per poter usufruire di specifici servizi per la didattica e la ricerca, come ad es: laboratori, attrezzature).

### Regolamento studenti

Dal luglio 2001 è entrato in vigore il nuovo Regolamento Studenti dell'Università di Bologna, che regola in maniera nuova la carriera degli studenti.

Tale Regolamento, che è espressione dell'autonomia universitaria e applicazione della riforma (D.M. 509/99), si applica a **tutti gli studenti del nostro Ateneo**, anche se, talvolta, regole differenti sono necessariamente previste per gli studenti appartenenti ai vecchi ordinamenti.

Di seguito sono riassunte le principali novità. Il testo integrale del nuovo Regolamento Studenti è consultabile presso tutte le Segreterie Studenti e presso L'U.R.P. e disponibile sul sito Web dell'Università: [www.unibo.it](http://www.unibo.it)

- **ISCRIZIONE TARDIVA**. La principale novità consiste nel fatto che l'iscrizione tardiva (dopo il 31 dicembre) non influisce più sulla normale progressione di carriera. In altre parole, chi ha titolo per iscriversi in corso, lo fa anche se paga la prima rata di tasse dopo il 31 dicembre. **Attenzione!** Sarà, però, assoggettata al pagamento di una **ulteriore** indennità di mora di € 178,17. Resta fermo il principio per cui non si possono sostenere esami nella sessione dell'anno

accademico per il quale non si è rinnovata l'iscrizione e che tale iscrizione in corso non è valida ai fini di ottenere i benefici previsti da Bandi ARSTUD e Università.

– **ISCRIZIONE FUORI CORSO.** Si iscrive fuori corso lo studente che si è già iscritto a tutti gli anni di corso previsti dal percorso didattico scelto e che, nei corsi a frequenza obbligatoria, ha ottenuto tutte le attestazioni di frequenza.

– **DECADENZA PER GLI ISCRITTI AI VECCHI ORDINAMENTI.** Rimane del tutto immutata la regolamentazione per gli iscritti ai vecchi ordinamenti: decadono gli iscritti fuori corso che non sostengono esami per 8 anni accademici consecutivi. Il conteggio degli 8 anni decorre dalla data più favorevole tra quella in cui lo studente si è trovato nella condizione di fuori corso e quella dell'ultimo esame sostenuto. La decadenza non colpisce chi sia in debito del solo esame finale.

– **INTERRUZIONE E RICONGIUNZIONE DELLA CARRIERA.** Chi non ha rinnovato l'iscrizione per uno o più anni accademici, se vuole riprendere gli studi, deve chiedere la ricongiunzione e pagare, per ogni anno d'interruzione, la tassa di ricognizione. Gli anni di interruzione sono comunque calcolati ai fini della decadenza dagli studi. **Cambia però il termine a partire dal quale la ricongiunzione può essere chiesta. Non è più il primo novembre bensì il successivo primo gennaio**

(Le disposizioni sopra indicate si applicano anche a coloro che interrompono la carriera per iscriversi a corsi di studi all'estero al di fuori di progetti e convenzioni di collaborazione internazionale universitaria o ad Istituti di formazione militare italiani)

## Rinuncia

Gli studenti che non intendono continuare gli studi intrapresi hanno facoltà di rinunciare agli stessi, ancorché non si sia verificata la decadenza. La rinuncia deve essere manifestata con atto scritto, redatto su apposito modulo in marca da bollo o carta legale, senza alcuna condizione, termine o clausola che ne restringano l'efficacia. Essa sarà **irrevocabile** e lo studente, pertanto, non potrà far rivivere in avvenire la sua precedente carriera scolastica già estinta per effetto della rinuncia. Lo studente rinunciatario non ha diritto ad alcun rimborso di tasse già pagate.

## Diritti e doveri dello studente

L'Alma Mater Studiorum Università di Bologna assicura forme e strumenti di pubblicità dei procedimenti e delle decisioni assunte in merito alle carriere degli studenti.

L'Università, altresì, promuove la partecipazione degli studenti ai procedimenti relativi allo svolgimento della loro carriera.

Lo studente ha facoltà di sollecitare l'intervento del Garante d'Ateneo, nel caso in cui si ritenga leso nei propri diritti o interessi.

In ogni caso, avverso i provvedimenti relativi alla carriera degli studenti, è ammesso ricorso giurisdizionale al Tribunale Amministrativo Regionale dell'Emilia-Romagna. (art. 18 – Nuovo Regolamento Studenti)

Gli studenti dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna durante il corso dei loro studi sono tenuti ad osservare comportamenti rispettosi della legge, dei regolamenti universitari, delle libertà e dei diritti di tutti i soggetti che svolgono la loro attività di lavoro o di studio all'interno delle strutture dell'Ateneo e ad astenersi dal danneggiamento dei beni di proprietà dell'Ateneo o di terzi, che anche temporaneamente vi si trovino.

Le violazioni delle norme di disciplina dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna comportano a carico dei trasgressori l'applicazione di provvedimenti disciplinari.

Nel caso di comportamenti degli studenti che possano integrare anche fattispecie di reato l'Alma Mater Studiorum Università di Bologna provvede tempestivamente ad informare l'Autorità Giudiziaria ed adotta i conseguenti provvedimenti previsti dalla legge.

(art. 19 - Nuovo Regolamento Studenti)

**SEDE DI CESENA****CORSI DI DIPLOMA UNIVERSITARIO INGEGNERIA dell'INFORMAZIONE**

I Diplomi Universitari dell'Ingegneria dell'Informazione sono tre: Diploma Universitario in Ingegneria delle Telecomunicazioni, Diploma Universitario in Ingegneria Elettronica, Diploma Universitario in Ingegneria Informatica. La durata degli studi per il conseguimento del titolo di ingegnere diplomato è di tre anni.

L'anno accademico è suddiviso in tre cicli didattici. Il Piano degli Studi prevede 30 insegnamenti (moduli) della durata di almeno 54 ore (delle quali 34 di lezione e 20 di esercitazione in aula e/o laboratorio). Vengono svolte attività pratiche di laboratorio e di tirocinio pratico obbligatorio, secondo modalità stabilite dal Consiglio di Facoltà. La frequenza ai corsi è, di norma, obbligatoria.

Le attività di tirocinio si svolgono a partire dal terzo ciclo del terzo anno e hanno durata compresa fra le 150 e 300 ore. Il tirocinio può essere svolto presso i laboratori delle strutture della Facoltà di Ingegneria (tirocinio interno) o presso imprese o enti pubblici e privati convenzionati (tirocinio esterno), in accordo al Regolamento del tirocinio pratico obbligatorio, predisposto dalla Facoltà. È richiesta una relazione scritta per documentare le attività del tirocinio. Le attività del tirocinio sono strettamente coordinate con i moduli didattici del terzo ciclo del terzo anno, la cui frequenza è attribuita d'ufficio agli allievi che effettuano il tirocinio esterno.

Per conseguire il titolo si deve sostenere un esame finale che consiste in una prova nella quale viene valutata la preparazione di base e professionale del candidato.

Nel triennio sono previste, complessivamente, almeno 2100 ore di didattica, comprensive delle ore di lezione, di esercitazione, di laboratorio, di tirocinio, di seminari, di preparazione dell'elaborato di documentazione del tirocinio e di altre attività integrative programmate.

Per altre informazioni si consulti il sito di indirizzo <http://www.ingce.unibo.it>

---

**CORSO DI DIPLOMA UNIVERSITARIO IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI**

**Presidente del Consiglio di Corso di Diploma: Prof. Marco Chiani**

Il profilo professionale tende a formare tecnici responsabili della produzione e dello sviluppo dei sistemi di telecomunicazioni realizzati con tecnologie convenzionali, nonché della gestione degli impianti e dell'interfaccia tecnica con il mercato e le vendite.

Obiettivo del diploma è la formazione di una figura professionale capace di operare da un lato nell'industria manifatturiera (delle telecomunicazioni terrestri e via satellite, dei terminali per utenti esteri e domestici, ecc.), e da un altro lato negli enti di servizio (ad esempio, come gestore delle reti, fornitore di informazioni, gestore di sistemi di radio e telediffusione), negli enti di controllo del traffico aereo, marittimo e terrestre, nei laboratori che fanno ampio uso della elaborazione dei segnali, ecc.

Per altre informazioni si consulti il Web di indirizzo <http://www.ingce.unibo.it>

### III Anno

I ciclo	II ciclo	III ciclo
Economia e Organizzazione aziendale (mutuato da Economia e Organizzazione aziendale L-A)	Microonde (mutuato da Microonde (L-A))	Organizzazione della produzione e dei Sistemi Logistici (mutuato da Cultura d'Impresa L-A)
Campi Elettromagnetici (mutuato da Campi Elettromagnetici L-A)	Trasmissione Numerica II (mutuato da Sistemi di Telecomunicazioni L-B)	Telematica (mutuato da Lab. di reti di Telecom. L-A)
Misure Elettroniche (mutuato da Misure Elettroniche L-A)	Reti di telecomunicazioni II (mutuato da Reti di telecomunicazioni L-B)	
Trasmissione Numerica I (mutuato da Sistemi di Telecomunicazioni L-A)		
Gestione della Qualità (mutuato da Gestione della Qualità L-A)		
<b>Tirocinio obbligatorio</b>		

## CORSO DI DIPLOMA UNIVERSITARIO IN INGEGNERIA ELETTRONICA

**Presidente del Consiglio di Corso di Diploma: Enrico Sangiorgi**

Il profilo professionale tende a formare tecnici responsabili della produzione e dello sviluppo dei sistemi elettronici realizzati con tecnologie convenzionali, nonché della gestione degli impianti e dell'interfaccia tecnica con il mercato e le vendite.

Il tecnico formato da questo Diploma punta a soddisfare le esigenze professionali intermedie delle aziende elettroniche manifatturiere. Esso verrà formato sui metodi di organizzazione e sulle tecnologie di realizzazione dei sistemi e dei sottosistemi elettronici che facciano uso dei componenti elettronici standard LSI e VLSI o dei prodotti realizzati con tecniche semicustom. Per corrispondere alle caratteristiche specifiche del nostro ambiente produttivo il curriculum prevede significative esperienze di elettronica analogica, interfacce di potenza e metodi di condizionamento della potenza. Il problema del collaudo e dell'affidabilità dei sistemi elettronici e della qualità dei prodotti percorrerà con continuità tutti i moduli professionali e troverà un riscontro di primo piano nelle attività sperimentali di laboratorio.

Per altre informazioni si consulti il Web di indirizzo <http://www.ingce.unibo.it>

### III Anno

I ciclo	II ciclo	III ciclo
Economia e Organizzazione aziendale (mutuato da Economia e Organizzazione aziendale L-A)	Microelettronica (mutuato da Elettronica L-C)	Organizzazione della produzione e dei Sistemi Logistici (mutuato da Cultura d'Impresa L-A)
Campi Elettromagnetici (mutuato da Campi Elettromagnetici L-A)	Elettronica Industriale (mutuato da Elettronica Industriale L-A)	Strumentazione e Misure Elettroniche I (mutuato da Strumentazione Elettronica L-A)
Misure Elettroniche (mutuato da Misure Elettroniche L-A)	Elettronica dei Sistemi Digitali (mutuato da Elettronica dei Sistemi Digitali L-A)	
Gestione della Qualità (mutuato da Gestione della Qualità L-A)	Progettazione Automatica dei Circuiti Elettronici (mutuato da Elettronica L-D)	
<b>Tirocinio obbligatorio</b>		

## Tabella delle mutazioni degli insegnamenti del DU VO dagli insegnamenti del CdL NO

CdL Ingegneria Elettronica NO	DU Ingegneria Elettronica VO
Elettronica L-C Economia e Organizzazione Aziendale L-A Campi Elettromagnetici L-A Misure Elettroniche L-A Gestione della Qualità L-A Elettronica Industriale L-A Elettronica dei Sistemi Digitali L-A Cultura d'Impresa L-A Strumentazione e Misure Elettroniche L-A Elettronica L-D	Microelettronica Economia e Organizzazione Aziendale Campi Elettromagnetici Misure Elettroniche Gestione della Qualità Elettronica Industriale Elettronica dei Sistemi Digitali Organizzazione della Produzione e dei Sistemi Logistici Strumentazione e Misure Elettroniche I Progettazione Automatica dei Circuiti Elettronici

### Tabella per il riconoscimento dei crediti

Esame DU	CFU	CFU A	CFU R	Modulo DU	Attività formativa riconosciuta nel Corso di Laurea NO	Tip	Ore di attività formativa	Attività formativa DU teledidattica
Matematica A	12	6		Analisi matematica I	Analisi matematica L-A	A	60	Matematica I
		6		Geometria e algebra	Geometria e algebra L-A	A	60	
Fisica generale	12	6		Fisica generale I	Fisica generale L-A	A	60	Fisica I
		6		Fisica generale II	Fisica generale L-B	A	60	Fisica II
Fondamenti di informatica	12	6		Fondamenti di inform.	Fond. di informatica L-A	A	60	Fond. di inform. I
		6		Reti logiche	Reti logiche L-A	A	60	Reti logiche
Sistemi e circuiti	12	6		Elettrotecnica	Elettrotecnica L-A	C	60	Elettrotecnica I
		6		Fondam. di automatica	Controlli automatici L-A	B	60	Teoria dei sistemi
Segnali e circuiti digitali	12	6		Elettronica applicata I	Elettronica L-A	B	60	Elettronica I
		6		Comunicaz. elettriche I	Comunicaz. elettriche L-A	B	60	Teoria dei segnali
Matematica B	12	6		Analisi matematica II	Analisi matematica L-B	A	60	Matematica II
		6		Meccanica razionale	Matematica applicata L-A	C	60	Metodi mat. per l'ing.
Chimica	6	6		Chimica	Fondam. di chimica L-A	A	60	Chimica
Calcolatori elettronici	12	6		Calcolatori elettronici	Calcolatori elettronici L-A	B	60	Calcolatori elettronici I
		6		Sistemi operativi	Sistemi oper. L-A (scelta)	B	60	Sistemi operativi
Comunicazioni elettriche	12		6	Reti di telecomunicazioni	Reti di Telecomunicazioni L-A (a scelta)	D	60	Reti di telecomunicazioni e telematiche
		6		Comunicazioni elettr. II	Comunicazioni elettr. L-B	B	60	Comunicazioni elettr.
Elettronica applicata	12	6		Elettronica applicata II	Elettronica L-B	B	60	Elettronica II
		6		Microelettronica	Elettronica L-C	B	60	
Elettronica integrata	12	6		Elett. dei sistemi digitali	Elett. sist. digitali L-A	B	60	
		6		Prog. autom. dei circuiti elettronici	Elettronica L-D	B	60	
Elettronica industriale	5	5		Elettronica industriale	Elettronica industr. L-A	B	60	
		6		Misure elettroniche	Misure elettroniche L-A	B	60	
Misure elettroniche	16	5		Strum. e misure elettr. I		D	60	
		5		Strum. e misure elettr. II		D	60	
Campi elettromagnetici	6	6		Campi elettromagnetici	Campi elettromagn. L-A	B	60	
Propagazione	6	6		Propagazione	Propagazione L-A	B	60	
Economia e produzione	16	6		Economia e organizzazione aziendale	Economia e Organizzazione aziendale L-A	C	60	Economia e organizzazione aziendale (Costi di produzione e gestione aziendale)
		5		Gestione della qualità	Gestione della qualità L-A	C	60	
		3		Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici	Generica attività di tip. F	F		
	6	6		Tirocinio	Tirocinio	F		Tirocinio
	6			Prova finale	Prova finale	E		Prova finale
<b>Totali</b>	<b>187</b>	<b>163</b>	<b>18</b>					

Con riferimento all'ordinamento del CdL in Ingegneria Elettronica, mancano 3 crediti di tipo E relativi alla lingua Inglese e 6 crediti ancora di tipo E relativi alla prova finale

**Nota:** Sistemi Operativi è stato accreditato, nella fase transitoria a Fondamenti di Informatica L-B. I 3 punti di Organizzazione della Produzione servono per raggiungere i 9 crediti previsti per la tipologia F. Le Strumentazioni e Misure Elettroniche, essendo nel NO in caso soppresso e nell'altro a scelta, sono state poste nella tipologia R

**Legenda:**

**CFU A:** crediti acquisiti in seguito al superamento di esami del DU in Ingegneria Elettronica VO e Accreditati per insegnamenti del Corso di laurea in Ingegneria Elettronica Nuovo Ordinamento

**CFU R:** crediti acquisiti in seguito al superamento di esami del DU in Ingegneria Elettronica VO. Sono Riconosciuti dal Corso di laurea in Ingegneria Elettronica e sono riferiti al settore scientifico disciplinare (SSD). Possono essere utilizzati dagli studenti che optano per il Corso di laurea in Ingegneria Elettronica residenziale come crediti della tipologia D (a scelta) fino ad un massimo di 12. Sono chiamati anche "Crediti in Esubero".

## CORSO DI DIPLOMA UNIVERSITARIO IN INGEGNERIA INFORMATICA

**Presidente del Consiglio di Corso di Diploma: Prof. Antonio Natali**

Il profilo professionale tende a formare tecnici responsabili della produzione e dello sviluppo dei sistemi informatici e dell'automazione industriale realizzati con tecnologie convenzionali, nonché della gestione degli impianti e dell'interfaccia tecnica con il mercato e le vendite.

Al Diploma Universitario di Informatica è affidato il compito di definire una figura professionale in grado di operare nei seguenti settori:

- industria manifatturiera dei sistemi di base dell'informatica e dell'automazione;
- società di ingegneria del software per la realizzazione di sistemi informatici dedicati e sistemi integrati per la supervisione ed il controllo;
- aziende, enti pubblici e privati che utilizzano l'informatica come mezzo per fornire servizi, amministrare, gestire e produrre;
- attività produttive fortemente automatizzate che fanno uso di prodotti automatici sofisticati e di sistemi di automazione complessi.

Nell'ambito del Diploma sono definiti i seguenti due orientamenti:

**Automazione:** l'orientamento approfondisce lo studio della modellistica e del controllo nonché delle tecnologie mediante le quali si realizzano i moderni sistemi di automazione industriale. Lo scopo è quello di fornire le basi teoriche e pratiche per la realizzazione di sistemi automatici di controllo sia di singoli apparati sia di complessi processi industriali. Contesti applicativi di riferimento sono la robotica, l'automazione di fabbrica, il controllo dei sistemi ambientali e di trasporto.

**Informatica:** l'orientamento approfondisce, sotto il profilo metodologico ed applicativo, il tema della organizzazione e della gestione dei sistemi ed impianti informatici. Argomenti caratterizzanti sono l'architettura delle macchine per l'elaborazione e le metodologie di sviluppo dei sistemi software. Contesti applicativi di riferimento sono i sistemi di elaborazione distribuiti, l'interazione operatore-macchina e la fabbrica del software.

Per altre informazioni si consulti il Web di indirizzo <http://www.ingce.unibo.it>

### TERZO ANNO

Economia e produzione	Economia ed organizzazione aziendale	1
	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici	2
	Gestione della qualità	2

<b>Misure elettroniche</b>	<b>Misure elettroniche</b>	1
<b>Orientamento Informatica</b>		
<b>Ingegneria del software</b>	<b>Ricerca operativa</b>	1
	<b>Ingegneria del software I</b>	2
	<b>Ingegneria del software II</b>	3
<b>Sistemi di elaborazione</b>	<b>Reti di calcolatori</b>	1
	<b>Sistemi di elaborazione</b>	2
	<b>Informatica industriale</b>	3
<b>Orientamento Automatica</b>		
<b>Automazione della produzione</b>	<b>Reti di calcolatori</b>	1
	<b>Ricerca operativa</b>	
	<b>Robotica industriale</b>	2
<b>Ingegneria del controllo</b>	<b>Azionamenti ed elettronica industriale</b>	2
	<b>Ingegneria e tecnologia dei sistemi di controllo</b>	3
	<b>Automazione industriale</b>	3



## SEDE DI FORLÌ

## CORSO DI DIPLOMA UNIVERSITARIO IN INGEGNERIA AEROSPAZIALE

Presidente del Consiglio di Corso di Diploma: Prof. Ing. Gianni Bertoni

Il Corso di Studi Universitario in Ingegneria Aerospaziale rilascia due titoli: uno è il Diploma Universitario in Ingegneria Aerospaziale (D.U.) che in tre anni di corso mira alla formazione di ingegneri diplomati con specializzazione nell'ambito della Qualità (gestione della qualità di prodotti e processi di produzione e/o manutenzione), delle Operazioni di Volo (pilotaggio, assistenza al volo, gestione flotte) e Spazio e Telecomunicazioni (gestione satelliti di telecomunicazione). Con due ulteriori anni di studio si potrà conseguire il Diploma di Laurea (D.L.) in Ingegneria Aerospaziale con analoghe specializzazioni e ulteriore orientamento alla Progettazione di Veicoli per Alte Velocità.

Gli esami da sostenere per conseguire il D.U. sono equivalenti a 15 annualità, con obbligo di frequenza alle lezioni, suddivisi su due cicli/anno al termine dei quali si hanno le sessioni esami. Alla fine del corso delle lezioni è previsto un periodo di tirocinio presso Enti o Aziende. È richiesto inoltre lo svolgimento di una tesi finale di diploma.

Per conseguire la Laurea in Ingegneria Aerospaziale saranno necessari ulteriori esami equivalenti a 9 annualità, stage e tesi finale di laurea.

Il Corso di Studi in Ingegneria Aerospaziale si articola in tre orientamenti da scegliere all'atto di iscrizione al secondo anno:

- 1) orientamento *qualità*
- 2) orientamento *operazioni di volo*
- 3) orientamento *spazio e telecomunicazioni*.

Il corso di Laurea prevede un ulteriore orientamento alla *Progettazione di Veicoli per Alte Velocità*.

L'orientamento *qualità* si propone di formare figure professionali che possano essere inserite nelle aziende aeronautiche (o comunque a tecnologia avanzata) con responsabilità nella gestione del sistema di qualità o di sistemi di produzione. Nel campo della manutenzione degli aeromobili può intervenire nell'organizzazione della manutenzione stessa, effettuare operazioni di ispezione, di registrazione o documentazione, essere specializzato nell'utilizzo di attrezzature complesse. Alla fine del corso di studi è previsto il tirocinio presso industrie, laboratori od officine di manutenzione.

L'orientamento *operazioni di volo* propone figure professionali con funzioni di responsabilità nel campo della pianificazione dell'uso degli aeromobili, della condotta del volo, della gestione della flotta aerea anche dal punto di vista strettamente tecnico (manutenzione, aggiornamento del velivolo e dei suoi impianti, ecc.). La formazione per la gestione di questi sistemi deve includere, sia pure a diversi livelli di approfondimento, le seguenti aree di conoscenza: caratteristiche e prestazioni degli aeromobili civili; struttura dell'ambiente fisico e situazione meteorologica in cui si svolge la circolazione aerea; tecniche di navigazione, guida e controllo degli aeromobili; procedure di pianificazione, regolazione e sorveglianza della circolazione aerea; sistemi di elaborazione e trasmissione delle informazioni in ambiente aerospaziale; criteri di diagnostica e mantenimento e aggiornamento dei velivoli per il soddisfacimento delle condizioni di aeronavigabilità previste; pianificazione dell'utilizzo della flotta.

L'orientamento *spazio e telecomunicazioni* ha lo scopo di fornire la conoscenza degli stru-

menti e delle procedure previste dall'ICAO e da EUROCONTROL circa le funzioni di Comunicazioni, Navigazione e Sorveglianza (CNS) nel prossimo futuro; infatti, queste funzioni impiegheranno costellazioni satellitari quali NAVSTAR\GPS e INMASAT, sistemi innovativi RADAR e reti di telecomunicazioni digitali integrati con adeguati sistemi di gestione dei dati di bordo (FMS). Conseguentemente la preparazione culturale per la gestione e/o la progettazione di questi nuovi sistemi deve includere, sia pure a diversi livelli di approfondimento, le seguenti aree di conoscenza: caratteristiche e prestazioni degli aeromobili civili; struttura dell'ambiente fisico e situazione meteorologica in cui si svolge la circolazione aerea; tecniche di navigazione e procedure di regolazione e sorveglianza della circolazione aerea; sistemi di elaborazione e trasmissione delle informazioni in ambiente aerospaziale; caratteristiche e prestazioni dei sistemi satellitari impiegati dall'aviazione civile.

### TERZO ANNO

Ciclo	Insegnamento	Esame
1	Aerodinamica II	Progetto di aeromobili
1	Strutture aerospaziali	
1	Impianti aerospaziali	Impianti aerospaziali
1	Economia e organizzazione aziendale Moduli a scelta di specializzazione (*)	Economia e organizzazione aziendale
2	Propulsione aerospaziale I	Propulsione aerospaziale
2	Propulsione aerospaziale II Moduli a scelta di specializzazione (*)	
2	Attività specifica per DU (**)	

#### (\*) Orientamento Qualità

1	Scienza dei metalli	Scienza dei metalli
2	Diagnostica strutturale Affidabilità e sicurezza delle costr. mecc.	Controllo della qualità

#### (\*) Orientamento Operazioni di volo

1	Sensori e attuatori elettrici	Sensori e attuatori elettrici
2	Meteorologia Navigazione aerea	Navigazione aerea

#### (\*) Orientamento Spazio e telecomunicazioni

1	Sensori e attuatori elettrici	Sensori e attuatori elettrici
2	Sistemi di radiocomunicazione Sistemi aerospaziali	Sistemi di telecomunicazione satellitari

Per tutti gli iscritti al D.U.

2	Tirocinio Tesi di D.U.
---	---------------------------

## CORSO DI DIPLOMA UNIVERSITARIO IN INGEGNERIA MECCANICA

**Presidente del Consiglio di Corso di Diploma: Prof. Ing. Vincenzo Dal Re**

Il Diploma Universitario (D.U.), di durata triennale, si propone di formare tecnici ed operatori in grado di operare nell'ambito industriale, con particolare riferimento al comparto meccanico, in attività di organizzazione della produzione, gestione dell'officina e degli impianti, guida di reparti, compiti di ufficio tecnico, servizi di manutenzione e di controllo.

Gli esami da sostenere per conseguire il D.U. sono 19, articolati in 30 moduli ed equivalenti a 15 annualità. Ogni modulo comprende un'attività didattica assistita di almeno 50 ore ciascuno (delle quali almeno 30 di lezioni in aula e almeno 20 di esercitazioni in aula e/o laboratorio). Il Regolamento didattico di ateneo prevede almeno 2100 ore di attività didattica assistita complessiva nell'arco dei tre anni di corso, comprensive di attività pratiche di laboratorio o di tirocinio.

I corsi sono suddivisi su due cicli/anno al termine dei quali si hanno gli appelli degli esami. Alla fine del corso delle lezioni è previsto un periodo di tirocinio presso Enti o Aziende. È richiesto, inoltre, lo svolgimento di una tesi finale di diploma.

Gli studenti che, avendo conseguito il D.U. intenderanno poi proseguire gli studi per acquisire la laurea, otterranno il riconoscimento di tutti gli esami già sostenuti.

Per conseguire la Laurea in Ingegneria Meccanica, dopo aver conseguito il D.U., saranno necessari ulteriori esami equivalenti a 12 annualità ( 5 + 1 al IV anno, 6 al V anno ), eventuale stage e tesi finale di laurea.

Il corso di Diploma Universitario in Ingegneria Meccanica si articola in due orientamenti:

1. Orientamento affidabilità e qualità
2. Orientamento strumentazione e sperimentazione

L'orientamento affidabilità e qualità ha come obiettivo quello di fornire gli strumenti necessari per l'analisi dell'affidabilità ed il controllo della qualità di componenti meccanici ed intere macchine. Nell'ambito dei corsi caratterizzanti agli allievi vengono insegnate le nozioni teoriche e la capacità per lo svolgimento di mansioni in questo campo.

L'orientamento strumentazione e sperimentazione ha come obiettivo quello di fornire agli allievi le conoscenze fondamentali nella strumentazione e le modalità necessarie per condurre le prove di collaudo tradizionali delle più comuni macchine motrici ed operatrici meccaniche. Vengono presentate successivamente le problematiche e i dispositivi riguardanti il campionamento di segnali durante la sperimentazione sulle macchine, per permettere all'allievo di progettare correttamente una campagna di acquisizione dati.

La frequenza ai corsi è obbligatoria ed è controllata quotidianamente con firma sul registro delle presenze. Per ottenere l'attestazione di frequenza, lo studente deve aver frequentato almeno il 70% delle ore di lezione di ciascun corso.

Sono ammessi al secondo anno di corso gli studenti che hanno superato gli esami relativi ad almeno sei moduli.

Sono ammessi al terzo anno di corso gli studenti che hanno superato gli esami relativi ad almeno dodici moduli, tra cui vanno inclusi tutti i moduli del primo anno.

Per altre informazioni, si consulti il Web di indirizzo <http://www.ingfo.unibo.it>

### III ANNO

Ciclo	Insegnamento	Esame
1	Sistemi energetici	Macchine e sistemi energetici
1	Macchine	

1	Meccanica degli azionamenti	Meccanica degli azionamenti
1	Tecnologia meccanica II	Tecnologia meccanica II
1	Azionamenti elettrici	Azionamenti elettrici
1	Un Modulo dell'orientamento scelto (*)	
2	Impianti meccanici I	Impianti meccanici
2	Impianti meccanici II	
2	Due Moduli dell'orientamento scelto (*)	
2	Tirocinio	
	Tesi di D.U.	

*(\*) Orientamento Affidabilità e qualità*

1	Diagnostica dei sistemi meccanici	
2	Diagnostica strutturale	Affidabilità e qualità
2	Affidabilità e sicurezza delle costruzioni meccaniche	

*(\*) Orientamento Strumentazioni e sperimentazioni*

1	Misure meccaniche termiche e collaudi	
2	Sperimentazione sulle macchine	Strumentazione e sperimentazione
2	Strumentazione e automazione industriale	

## CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA AEROSPAZIALE (Vecchio Ordinamento)

**Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Ing. Gianni Bertoni**

Sono attivati il terzo, quarto e quinto anno di corso per gli studenti già iscritti negli a.a. precedenti che intendono completare il proprio curriculum secondo il vecchio ordinamento, ottenendo il titolo di "Dottore in Ingegneria Aerospaziale".

Nel periodo transitorio, poiché i Piani di Studi dei Corsi del Vecchio Ordinamento e del Nuovo Ordinamento presso questa Sede sono compatibili, i trasferimenti degli studenti che desiderino iscriversi al nuovo Corso di Laurea (triennale) avverranno col riconoscimento totale di tutti gli esami già sostenuti, valutati in termini di crediti didattici.

### III Anno

Cicli	Moduli	Annualità
1	Metodi matematici per l'ingegneria	1
2	Strutture aeronautiche	1
1	Aerodinamica II	1
2	Impianti aerospaziali	0,5
1	Economia e organizzazione aziendale	0,5
3	Propulsione aerospaziale I	1
3	Propulsione aerospaziale II	
	Moduli a scelta di specializzazione (*)	

1	<b>(*) Orientamento Qualità</b>	0,5
2	Scienza dei metalli	1
3	Diagnostica strutturale	
	Affidabilità e sicurezza delle costruzioni meccaniche	
3	<b>(*) Orientamento Operazioni di volo</b>	0,5
2	Sensori e attuatori elettrici	1
3	Meteorologia	
	Navigazione aerea	
3	<b>(*) Orientamento Spazio e telecomunicazioni</b>	0,5
1	Sensori e attuatori elettrici	1
2	Sistemi di radiocomunicazione	
	Sistemi aerospaziali	

#### IV Anno

Cieli	Moduli	Annualità
3	Calcolo numerico e programmazione	1
1	Ricerca operativa	1
1	Dinamica del volo	1
2	Elettronica dei sistemi digitali	1
2	Strutture e materiali aerospaziali	1
1	Aerodinamica sperimentale	1
3	Controlli automatici II	1

#### V Anno

Cieli	Moduli	Annualità
1	Aeromobili e decollo verticale	1
1	Sistemi di propulsione avanzati	1
	Esami a scelta di specializzazione (*)	
	Tirocinio (**)	0,5
	Tesi di laurea	
	(**) Può sostituire un corso semestrale di orientamento	
	<b>(*) Orientamento Qualità</b>	
2	Fondamenti e metodi della progettazione per l'industria aerospaziale	1
2	Fluidodinamica computazionale	1
2	Progetto generale di aeromobili	0,5
3	Veicoli navali e terrestri ad alta velocità	0,5
	<b>(*) Orientamento Operazioni di volo - Spazio e telecomunicazioni</b>	
2	Trasporti aerei	0,5
3	Ingegneria dei sistemi di controllo	0,5
2	Dinamica del volo spaziale	1
1	Sistemi di telecomunicazioni	0,5
2	Sistemi di guida e navigazione aerospaziali	0,5

### CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA (VECCHIO ORDINAMENTO)

Presidente del Consiglio di Corso di Laurea: Prof. Ing. Vincenzo Dal Re

Sono attivati il terzo, quarto e quinto anno di corso per gli studenti già iscritti negli a.a. precedenti che intendono completare il proprio curriculum secondo il vecchio ordinamento, ottenendo il titolo di "Dottore in Ingegneria Meccanica".

Nel periodo transitorio, poiché i Piani di Studi dei Corsi del Vecchio Ordinamento e del Nuovo Ordinamento presso questa Sede sono compatibili, i trasferimenti degli studenti che desiderino iscriversi al nuovo Corso di Laurea (triennale) avverranno col riconoscimento totale di tutti gli esami già sostenuti, valutati in termini di crediti didattici.

### III Anno

Ciell	Moduli	Annualità
I	Sistemi energetici	0,5(*)
	Meccanica degli azionamenti (sem)	0,5
	Metodi matematici per l'ingegneria	1
	Tecnologia meccanica II (sem)	0,5
II	Azionamenti elettrici (sem)	0,5
	Impianti meccanici II	0,5(**)
III	Macchine	0,5(*)
	Impianti meccanici	0,5(**)
	(*) Corso integrato	
	(**) Corso integrato	
<b>Orientamento: Strumentazione e sperimentazioni</b>		
I	Misure meccaniche, termiche e collaudi	1
II	Strumentazione e automazione industriale	1
III	Sperimentazione sulle macchine	1
<b>Orientamento: Affidabilità e qualità</b>		
I	Diagnostica dei sistemi meccanici	1
II	Diagnostica strutturale	1
III	Affidabilità e sicurezza delle costruzioni meccaniche	1

### IV Anno

Ciell	Moduli	Annualità
I	Tecnologie di chimica applicata (sem)	0,5
	Conversione dell'energia (sem)	0,5
	Tecnologie delle costruzioni aeronautiche (sem) (*)	0,5
II	Macchine II (sem)	0,5
	Controlli automatici (sem) (*)	0,5
	Meccanica dei fluidi (sem)	0,5
III	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici (sem)	0,5
	Scienza delle Costruzioni (sem)	0,5
	Calcolo numerico e programmazione (sem)	0,5
	Meccanica applicata alle macchine II (sem)	0,5
	(*) Mutuato da Ingegneria Aerospaziale	

### V Anno

Ciell	Moduli	Annualità
I	Principi e metodologie della progettazione meccanica	1
	Elementi di diritto commerciale (sem)	0,5
	Impianti meccanici II	1
II	Dinamica delle macchine e dei sistemi meccanici	1
III	Tirocinio (Nota)	
	Tesi di laurea	
	(Nota) Un tirocinio di 150-300 ore può sostituire un corso di orientamento	
	<b>Insegnamenti a scelta</b>	
<b>Specializzazione: progettazione meccanica avanzata</b>		
I	Meccanica dei robot (sem)	0,5
II	Costruzione di macchine automatiche e robot	1
III	Progettazione meccanica con materiali non convenzionali	1

II	<b>Specializzazione sistemi di conversione dell'energia</b> <b>Impianti termotecnici (sem)</b> <b>Controllo dei sistemi energetici</b> <b>Motori a combustione interna</b>	<b>0,5</b> <b>1</b> <b>1</b>
II	<b>Specializzazione: Impianti e produzione</b> <b>Sicurezza dei sistemi di produzione</b> <b>Impianti industriali II</b> <b>Logistica industriale (sem)</b>  <b>(Nota) Valutazione in caso di passaggio al Corso di laurea in Ingegneria Meccanica N.O.</b> <b>Annualità totali relative al Quinquennio: 27</b>	<b>1</b> <b>1</b> <b>0,5</b>

## ELENCO DEGLI INSEGNAMENTI DI CUI I DOCENTI HANNO RESO DISPONIBILI I PROGRAMMI

LEGENDA CORSI STUDIO	Abbreviazioni
<b>Corsi di Laurea Forlì</b>	
AEROSPAZIALE	cla
MECCANICA	clm
<b>Corsi di Laurea Cesena</b>	
DELLE TELECOMUNICAZIONI	dut
ELETTRONICA	dul
INFORMATICA	dui
BIOMEDICA	clb
SISTEMI E TECN. DELL'INFORMAZ.	S
<b>Corsi di Diploma in Ingegneria FORLÌ</b>	
AEROSPAZIALE	dua
MECCANICA CESENA	dum
DELLE TELECOMUNICAZIONI	dut
ELETTRONICA	dul
INFORMATICA	dui

Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
AERODINAMICA APPLICATA LS	cla	FO	TALAMELLI ALESSANDRO	205
AERODINAMICA DEGLI AEROMOBILI L	dua, cla	FO	TALAMELLI ALESSANDRO	206
AFFIDABILITÀ E SICUREZZA DELLE COSTRUZIONI MECCANICHE L	dua,dum, cla,clm	FO	CURIONI SERGIO	210
ANALISI MATEMATICA L A	cla,clm	FO	GUIDETTI DAVIDE	219
ANALISI MATEMATICA L B	cla,clm	FO	GUIDETTI DAVIDE	227
ANALISI NUMERICA BS-B	clb	CE	ZAMA FABIANA	234
A VIONICA E SISTEMI DI RADIOCOMUNICAZIONE L	cla, dua	FO	CARCIOFI CLAUDIA	250
AZIONAMENTI ELETTRICI L	dum,clm	FO	SERRA GIOVANNI	255
BIOCHIMICA BS	clb	CE	GIORDANO EMANUELE	256
BIOINGEGNERIA L	clb	CE	GNUDI GIANNI	261
BIOMECCANICA BS	clb	CE	CAPPELLO ANGELO	263
BIOMECCANICA L	clb	CE	CHIARI LORENZO	262
CALCOLO NUMERICO L A	dui, dul	CE	ZAMA FABIANA	266
CAMPI ELETTROMAGNETICI L A	dut,dul	CE	TARTARINI GIOVANNI	268
COMPORTEMENTO MECCANICO DEI MATERIALI L A	clb	CE	CRISTOFOLINI LUCA	293
COMPORTEMENTO MECCANICO DEI MATERIALI L	cla,clm	FO	DAL RE VINCENZO	292
COMUNICAZIONI ELETTRICHE L A	dul, dui, dut, clbCE	FO	VANELLI CORALLI ALESSANDRO	297
COMUNICAZIONI ELETTRICHE L B	dut,dul, dui	CE	CHIANI MARCO	298
CONTROLLI AUTOMATICI L	cla	FO	BERTONI GIANNI	308
CONTROLLI AUTOMATICI LS	clm	FO	BERTONI GIANNI	311
CONTROLLO AUTOMATICO DEL VOLO LS	cla	FO	CASTALDI PAOLO	312
CONVERSIONE DELL'ENERGIA LS	clm	FO	BIANCHI MICHELE	315
COSTRUZIONI AERONAUTICHE L	cla, dua	FO	PERSIANI FRANCO	321



Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
DIAGNOSTICA DEI SISTEMI MECCANICI L	dum,clm	FO	MAGGIORE ALBERTO	331
DIAGNOSTICA STRUTTURALE L	dum,clm	FO	MINAK GIANGIACOMO	332
DINAMICA DEL VOLO LS	cla	FO	SAGGIANI GIAN MARCO	335
DINAMICA DEL VOLO SPAZIALE L	cla	FO	MORROI ROBERTO	337
DINAMICA DELLE MACCHINE E DEI SISTEMI MECCANICI (ANNUALITÀ)	clm	FO	RIVOLA ALESSANDRO	333
DIRITTO DELLA NAVIGAZIONE AEREA L	cla	FO	MASUTTI ANNA	345
DISEGNO ASSISTITO DAL CALCOLATORE L	cla,clm	FO	PIANCASTELLI LUCA	348
DISEGNO TECNICO AEROSPAZIALE L	cla,clm	FO	PIANCASTELLI LUCA	356
ECONOMIA DELLE SOCIETÀ DELL'INFORMAZIONE LS	S	CE	STAJANO ATTILIO	361
ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE L A	dut,dul,dui,clb	CE	GRIMALDI ROSA	364
ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE L	dum,cla,clm	FO	BONICELLI DELLA VITE PIERO	370
ELABORAZIONE DI DATI E SEGNALI BIOMEDICI BS	clb	CE	URSINO MAURO	375
ELABORAZIONE DI DATI E SEGNALI BIOMEDICI TL	clb	CE	SARTI ALESSANDRO	376
ELEMENTI DI DIRITTO COMMERCIALE (SEM)	clm	FO	MASUTTI ANNA	382
ELETTRONICA INDUSTRIALE L A	dul	CE	FILICORI FABIO	398
ELETTRONICA L B	dut,dul,dui,clb	CE	TARTAGNI MARCO	399
ELETTROTECNICA L	cla,clm	FO	GHIGI PAOLO RAFFAELE	410
ELETTROTECNICA L A	dut,dul,dui,clb	CE	MASTRI FRANCO	410
FISICA GENERALE L A	dut,dul,dui,clb	CE	VITALE ANTONIO	422
FISICA GENERALE L B	dut,dul,dui,clb	CE	VITALE ANTONIO	429
FISICA TECNICA L A	clb	CE	LAZZARI STEFANO	444
FISICA TECNICA L	clm	FO	FABBRI GIAMPIETRO	443
FISIOLOGIA L A	clb	CE	LENZI PIER LUIGI	445
FISIOLOGIA L B	clb	CE	DOMENICONI ROSA	446
FLUIDODINAMICA L	cla	FO	SCARPI GIAMBATTISTA	448
FONDAMENTI DI CHIMICA L	cla,clm	FO	MARIANUCCI ELISABETTA	455
FONDAMENTI DI CHIMICA L	clb	CE	LOTTI NADIA	452
FONDAMENTI DI INFORMATICA L A	dut,dul,dui,clb	CE	NATALI ANTONIO	
FONDAMENTI DI INFORMATICA L	cla,clm	FO	SIMONINI STEFANO	459
GEOMETRIA E ALGEBRA L B	dui, dul	CE	MULAZZANI MICHELE	487
GEOMETRIA E ALGEBRA BS	clb	CE	MULAZZANI MICHELE	482
GEOMETRIA E ALGEBRA L A	dut,dul,dui,clb	CE	MULAZZANI MICHELE	486
GEOMETRIA E ALGEBRA LS	S	CE	MULAZZANI MICHELE	488
IMPIANTI AEROSPAZIALI L	dua,cla	FO	BAGASSI VIRGINIO	503
INGEGNERIA CLINICA L	clb	CE	LAMBERTI CLAUDIO	527
INGEGNERIA DEI SISTEMI DI CONTROLLO (SEM)	cla	FO	DAGA LEONARDO	533
INGEGNERIA DEL SOFTWARE LA	dui	CE	NATALI ANTONIO	535
LABORATORIO DI ANALISI NUMERICA	cla, clm	FO	SGALLARI FIORELLA	550
LABORATORIO DI DIAGNOSTICA DELLE STRUTTURE	dum,clm	FO	MINAK GIANGIACOMO	550
LABORATORIO DI DIAGNOSTICA STRUTTURALE	dua,cla	FO	MINAK GIANGIACOMO	550
LABORATORIO DI ELABORAZIONE NUMERICA DEI SEGNALI L A	dut	CE		551
LABORATORIO DI PROPULSIONE	cla	FO	PONTI FABRIZIO	555
LABORATORIO DI SIMULAZIONE DEL VOLO	cla	FO	SAGGIANI GIAN MARCO	556

Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
LABORATORIO DI SIMULAZIONE E OTTIMIZZAZIONE L	dui	CE	VIGO DANIELE	556
MACCHINE L	cla	FO	NALDI GIOVANNI	581
MACCHINE L	dum,clm	FO	SPINA PIER RUGGERO	586
MACCHINE LS	clm	FO	SPINA PIER RUGGERO	578
MATEMATICA APPLICATA L A	dut,dui,dui,clb	CE	BRINI FRANCESCA	595
MATEMATICA DISCRETA LS	S	CE	MULAZZANI MICHELE	596
MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE L	cla,clm	FO	CATANIA GIUSEPPE	603
MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE LS	clm	FO	RIVOLA ALESSANDRO	604
MECCANICA DEGLI AZIONAMENTI L	dum,clm	FO	MENEGHETTI UMBERTO	606
MECCANICA DEI FLUIDI L	clm	FO	DAPRÀ IRENE	608
MECCANICA DEI ROBOT (SEM)	clm	FO	PARENTI CASTELLI VINCENZO	612
MECCANICA DEL VOLO L	cla	FO	SAGGIANI GIAN MARCO	618
MECCANICA RAZIONALE L	cla,clm	FO	SECCIA LEONARDO	631
METEOROLOGIA L	dua,cla	FO	PRODI FRANCO	633
METODI DI OTTIMIZZAZIONE LS	S	CE	VIGO DANIELE	634
METODI MATEMATICI PER L'INGEGNERIA LS	cla,clm	FO	GUIDETTI DAVIDE	637
METODI NUMERICI PER L'INGEGNERIA LS	cla, clm	FO	MORIGI SERENA	639
MISURE ELETTRONICHE L A	dut,dui,dui	CE	PASINI GAETANO	651
MODELLI DI SISTEMI BIOLOGICI BS	clb	CE	GNUDI GIANNI	653
MODELLI FISICO - MATEMATICI PER L'INGEGNERIA INDUSTRIALE LS	clm, cla	FO	SECCIA LEONARDO	654
NAVIGAZIONE AEREA L	dua,cla	FO	CHIARINI NEVIO	659
ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE E DEI SISTEMI LOGISTICI (sem)	clm	FO	BONICELLI DELLA VITE PIERO	663
PRINCIPI E METODOLOGIE DELLA PROGETTAZIONE MECCANICA (ANNUALITÀ)	clm	FO	CROCCOLO DARIO	674
PROGETTAZIONE MECCANICA CON MATERIALI NON CONVENZIONALI PROGETTO	clm cla	FO FO	CESARI FRANCESCO LIVERANI ALFREDO	681 683
PROGETTO GENERALE DI AEROMOBILI (sem)	cla	FO	SAGGIANI GIAN MARCO	685
PROPULSIONE AEROSPAZIALE L	dua,cla	FO	MINELLI GIORGIO BETTOCCHI ROBERTO	690
RETI DI CALCOLATORI L A	dui, du, dut	CE	FALDELLA EUGENIO	696
RETI DI TELECOMUNICAZIONI L B	dut	CE	RAFFAELLI CARLA	702
RETI LOGICHE L A	dut,dui,dui,clb	CE	DI STEFANO LUIGI	704
RICERCA OPERATIVA L A	dui, du	CE	VIGO DANIELE	705
RICERCA OPERATIVA LS	cla	FO	VIGO DANIELE	706
SICUREZZA DEI SISTEMI DI PRODUZIONE (ANNUALITÀ)	clm	FO	MANZINI RICCARDO	726
SISTEMI DI GUIDA E NAVIGAZIONE AEROSPAZIALI (SEM)	cla	FO	ZANZI MATTEO	732
SISTEMI DI PROPULSIONE AVANZATI (ANNUALITÀ)	cla	FO	PONTI FABRIZIO	731
SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI L A	dut	CE	CAINI CARLO	734
SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI L B	dut	CE	DARDARI DAVIDE	735
SISTEMI ENERGETICI L	dum,clm	FO	MORO DAVIDE	739
SISTEMI INFORMATIVI L A	dui	CE		742
SISTEMI OPERATIVI L A	dut, dui	CE	BOARI MAURELIO	744
SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE L	dum,clm	FO	BIANCHI GIAN MARCO	746
STRUMENTAZIONE AEROSPAZIALE L	cla, dua	FO	BERTONI CARLO	751

Insegnamento	CDS	Sede	Docente	pagine
STRUMENTAZIONE BIOMEDICA L	cib	CE	CAVALCANTI SILVIO	753
STRUMENTAZIONE ELETTRONICA L A	dul	CE	PERETTO LORENZO	756
STRUTTURE E MATERIALI AEROSPAZIALI LS	cla	FO	TROIANI ENRICO	759
TECNICA DELLE COSTRUZIONI MECCANICHE L	clm	FO	CROCCOLO DARIO	774
TECNOLOGIA MECCANICA L A	clm	FO	TOMESANI LUCA	790
TECNOLOGIA MECCANICA L B	dum,clm	FO	BARONCINI GIOVANNI	791
TECNOLOGIE DELLE COSTRUZIONI AERONAUTICHE L	cla,clm	FO	LAZZERI LUIGI	793
TECNOLOGIE DI CHIMICA APPLICATA LS	clm	FO	BONORA VIRNA	796
TEORIA DELL'INFORMAZIONE E CODICI LS	S	CE	CHIANI MARCO	804
TERMOFLUIDODINAMICA APPLICATA L	clm	FO	FABBRI GIAMPIETRO	815
TRASPORTI AEREI (SEM)	cla	FO	LUPI MARINO	828

## PROGRAMMI DEGLI INSEGNAMENTI

### RESI DISPONIBILI DAI DOCENTI

#### FACOLTÀ DI INGEGNERIA + II FACOLTÀ DI INGEGNERIA (CON SEDE A CESENA)

#### ACQUEDOTTI E FOGNATURE (semestrale)

**BO, cds: R**

Docente: **Alberto Marinelli ric.**

L'Insegnamento descrive le due principali infrastrutture nel campo delle costruzioni idrauliche (gli acquedotti e le fognature), le loro caratteristiche di funzionamento, i criteri progettuali e le principali problematiche di tipo territoriale e ambientale ad esse connesse.

#### *Programma*

##### *Acquedotti:*

Le componenti principali di un acquedotto. La richiesta idropotabile, quantità e variabilità: le caratteristiche di qualità e gli standards normativi.

La risorsa naturale: il ciclo idrologico terrestre e le fonti di approvvigionamento. Le fonti sotterranee: qualità e quantità della risorsa ottenibile, le opere di estrazione.

Le fonti superficiali: la qualità della risorsa; la stima della quantità ottenibile con o senza regolazione dei deflussi; le opere di derivazione da lago o da fiume.

Le condotte di adduzione. a pelo libero o in pressione: a gravità o prementi: i criteri progettuali.

Gli impianti di sollevamento: le pompe centrifughe. loro caratteristiche, i problemi di cavitazione.

Le reti di distribuzione ad albero o a maglie: problemi di verifica e progetto. Gli allacciamenti privati.

I serbatoi cittadini: le funzioni di carico, compenso e riserva; i tipi interrati e pensili; gli organi accessori.

Le condotte: tipi, materiali e caratteristiche: i problemi di moto vario e le sollecitazioni statiche. La difesa dalle corrosioni.

I manufatti e le apparecchiature accessorie per il corretto funzionamento idraulico delle opere.

##### *Fognature:*

I sistemi di drenaggio urbano bianchi, neri e misti: componenti principali e tipologie.

I manufatti di immissione in fogna: le caditoie stradali e lo scarico dagli edifici: la ventilazione.

Le portate di progetto: le portate di scarico urbano, loro componenti e variabilità; l'analisi statistica delle piogge, i modelli di formazione dei deflussi (il metodo cinematico) e la stima delle portate pluviali di progetto.

La rete di raccolta e trasporto; materiali e tipi dei condotti; progetto idraulico dei condotti chiusi a parziale riempimento.

Principali caratteristiche delle acque reflue: la trasformazione in fogna e la corrosione da acido solfidrico.

Gli impianti di sollevamento: il funzionamento intermittente e le vasche di aspirazione.

Lo scarico nei riceventi: il problema ambientale e idraulico; gli scaricatori di piena: le vasche di prima pioggia e di laminazione.

I manufatti di scarico in fiume, lago, mare.

*Testi consigliati*

- L. DA DEPPO, C. DATEI, P. SALANDIN, *Acquedotti*, Istituto Idraulica Università di Padova, 1996.  
 L. DA DEPPO, C. DATEI, P. SALANDIN, *Fognature*, Istituto Idraulica Università di Padova, 1996.  
 G. IPPOLITO, *Appunti di costruzioni idrauliche*, Liguori Editore, Napoli, 1993.  
 A. PAOLETTI, *Sistemi di fognatura e di drenaggio urbano*, Edizioni CUSL, Milano, 1996.  
 MANUALE DELL'INGEGNERE, *Nuovo Colombo*, volume II, sez. H, Hoepli, Milano, 1990.  
 MANUALE DI INGEGNERIA CIVILE, volume primo, terza edizione, E.S.A.C., Roma, 1996.  
 V. MILANO, *Acquedotti, guida alla progettazione*, Editore Ulrico, Hoepli, Milano, 1996.  
 S. ARTINA et al., *Sistemi di fognatura, manuale di progettazione*, Centro Studi Deflussi Urbani, Hoepli, Milano, 1997.

*Insegnamenti propedeutici consigliati*: idraulica, idrologia.

**ACUSTICA APPLICATA****BO, cds: D, C**

Docente: **Massimo Garai** prof. straord.

**1. Fondamenti.**

*Acustica fisica*: Equazione delle onde acustiche. Principali grandezze acustiche. Velocità del suono nei vari mezzi. Onde piane, sferiche, cilindriche. Onde stazionarie, interferenza, battimenti, "anti-suono". Effetto Doppler. Cenni all'approssimazione con raggi sonori. Fenomeni acustici ad un interfaccia (assorbimento, riflessione, trasmissione, diffusione).

*Materiali e sistemi passivi fonoassorbenti*: classificazione e progettazione. Assorbimento del suono nell'aria.

*Livelli sonori decibel e spettri* – Caratteristiche dei segnali sonori. Scala dei decibel. Introduzione all'analisi in frequenza. Spettri. Filtri di (1/n di) ottava. Curve di ponderazione. Metrica dei livelli sonori.

*Acustica psicofisica* – Sistema uditivo umano. Proprietà delle sensazioni uditive e loro valutazione. Disturbo e danno da rumore.

*Acustica degli ambienti chiusi* – Trattazione geometrica. Trattazione energetica-statistica. Riverberazione. Formula di Sabine. Altre espressioni del tempo di riverberazione. Cenni alla trattazione ondulatoria (modi normali e cavità accoppiate). Camere riverberanti e camere anecoiche.

*Isolamento acustico* – Legge di massa. Effetto di risonanza e di coincidenza. Smorzamento interno. Pareti doppie e pareti multistrato. Perdite d'isolamento dovute ad aperture. Trasmissione laterale.

**2. Strumentazione.**

Microfoni di misura. Accelerometri. Amplificatori. Filtri. Fonometri. Analizzatori real time e FFT. Misuratori di intensità sonora. Registrazione e riproduzione digitale. Calibrazione e verifica periodica. Leggi e norme tecniche.

**3. Applicazioni.**

*Acustica architettonica* – Descrittori dell'intelligibilità del parlato. L'acustica delle sale da spettacolo: cenni storici fino all'opera di Sabine. L'opera di Beranek. Descrittori acustici monoaurali per le sale da concerto. Descrittori acustici per la sensazione spaziale. La teoria di Ando. La ricerca contemporanea.

*Acustica edilizia* – Requisiti acustici dei singoli componenti edilizi (facciate, finestre, parti verticali interne, porte, solai). Prestazioni acustiche dell'edificio nel suo insieme: il modello

CEN. L'inserimento dell'edificio nell'ambiente. Tecniche di controllo del rumore. Leggi e norme tecniche.

*Rumore degli impianti tecnici* – Sorgenti di rumore negli impianti tecnici. Appareti meccanici. Rumore generato dai fluidi in movimento. Tecniche di controllo del rumore. Leggi e norme tecniche.

*Rumore in ambiente di lavoro* – Leggi e norme tecniche. Valutazione dell'esposizione personale. Controllo del rumore alla sorgente. Controllo passivo del rumore. Cenni al controllo attivo del rumore. Protettori individuali.

*Rumore in ambiente esterno* – Leggi e norme tecniche. Impostazione del problema. Divergenza geometrica. Attenuazione dovuta all'atmosfera. Effetto del vento. Effetto dei gradienti di temperatura. "Effetto suolo". Vegetazione. Ostacoli alla propagazione sonora. Progettazione di barriere acustiche. Valutazione di impatto ambientale. Rumore da impianti industriali. Rumore da traffico stradale, ferroviario, aereo.

#### 4. Procedure di misura.

Acquisizione ed elaborazione digitale di risposte all'impulso. Misure di tempo di riverberazione. Misure di assorbimento acustico. Misure di intelligibilità. Tecniche binaurali di misura. Misure di potere fonoisolante, di isolamento acustico e di livello di rumore di calpestio. Indici di valutazione. Misure di potenza sonora. Leggi e norme tecniche.

#### 5. Modelli numerici.

Vantaggi e limiti dei modelli numerici. Sorgenti virtuali. Ray tracing. Beam tracing. Radioactivity. Modelli ibridi. Confronto tra le varie tecniche. Auralizzazione. Utilizzo di modelli numerici per la progettazione acustica di grandi sale.

Esercitazioni in Laboratorio.

In funzione della disponibilità di tempo e mezzi, riguarderanno le tecniche trattate nei punti 4 e 5 del Programma.

#### Testi consigliati.

R. SPAGNOLO (a cura di), *Manuale di acustica applicata*, UTET Libreria, Torino (2001).

L.E. KINSLER, A.R. FREY, A.B. COPPENS, J.V. SANDERS, *Fundamentals of acoustics*, 3<sup>rd</sup> ed., John Wiley & Sons, New York (1982).

L.L. BERANEK, *Noise and vibration control*, Revised Edition, Institute of Noise Control Engineering, Washington, DC (1988).

Copie per la riproduzione dei lucidi proiettati in aula.

Materiale didattico su Internet all'URL: <http://acustica.ing.unibo.it>.

ESAMI. Una singola prova orale.

Tesi di laurea.

A carattere fondamentale, agganciate alle attività di ricerca in corso.

A carattere applicativo, con analisi e risoluzione di casi reali.

Si incoraggiano le tesi interdisciplinari in collaborazione con altri Dipartimenti.

## AERODINAMICA

Docente: **Giambattista Scarpi** prof. ord.

BO, cds: C, M

L'insegnamento ha lo scopo di fornire le nozioni necessarie per comprendere i fenomeni relativi al moto di un fluido attorno a un corpo. Queste nozioni servono in particolare per lo studio

della resistenza del mezzo, delle superfici portanti degli aerei, delle palettature di alcuni tipi di pompe e turbine.

Caratteristiche meccaniche e termodinamiche dei fluidi. Campi scalari e campi vettoriali. Equazioni per lo studio del moto dei fluidi. Campi di moto irrotazionali (moti a potenziale). Moto piano irrotazionale di fluido incomprimibile. Funzioni analitiche e trasformazione conforme e loro applicazioni ai moti piani. Profili Joukowski. Teoria dello strato limite. Comportamento aerodinamico dei corpi di cattiva penetrazione. Studio di correnti comprimibili. Correnti subsoniche. Moto isoentropico in condotti di sezione variabile. Comportamento aerodinamico di profili sottili in corrente subsonica. Correnti supersoniche. Espansione di Prandtl-Meyer. Onde di shock. Comportamento aerodinamico di profili sottili in corrente supersonica. Cenni sulle eliche. Cenni sulla teoria dei modelli e sulle gallerie aerodinamiche.

#### Testi consigliati:

HOUGHTON - CARPENTER, *Aerodynamics for engineering students*, Arnold.

KUETHE - CHOW, *Foundation of aerodynamics*, Wiley.

MATTIOLI, *Aerodinamica*, Levrotto & Bella.

QUORI, *Aerodinamica*, Levrotto & Bella.

### AERODINAMICA APPLICATA LS

FO, cds: cla

Docente: Alessandro Talamelli prof. ass.

#### I FLUIDI E IL LORO MOTO

Cenni di fisica dei fluidi - Proprietà - L'ipotesi del continuo - Viscosità e conducibilità, il numero di Prandtl.

#### LE EQUAZIONI DI NAVIER STOKES

I principi del moto - Il tensore di Cauchy - Equazione del moto di Cauchy - L'equazione dell'energia - Il tensore di deformazione - Le equazioni costitutive.

#### SOLUZIONI DELLE EQUAZIONI DI NAVIER STOKES

Il moto di Couette e di Poiseuille - Blasius - Metodi integrali per il calcolo dello strato limite - Il metodo di Polhausen.

#### INSTABILITÀ IDRODINAMICA E TRANSIZIONE

Aspetti introduttivi - Definizioni di stabilità e di Re critico - Evoluzione spaziale e temporale dei disturbi - Soluzione del problema non viscoso e viscoso - Instabilità del problema di Blasius - Cenni sulle instabilità secondarie - Scenari relativi alla transizione.

#### LA TURBOLENZA

Aspetti introduttivi - Richiami di statistica - Le scale spaziali e temporali - Le equazioni del moto turbolento - Esempi di flussi turbolenti - Analisi spettrale - Cenni sui metodi di calcolo per flussi turbolenti.

#### AERODINAMICA NON STAZIONARIA

Il buffettin - Galloping - Flutter - carichi da vortex shedding.

**METODI SPERIMENTALI PER L'AERODINAMICA**

Il teorema di Buckingham – Le gallerie del vento – Tipologie e caratteristiche.

Metodologie di misura: Pitot, anemometria a filo caldo, anemometria Laser Doppler.

Misure di forza: le bilance estensimetriche – Metodi di visualizzazione.

Acquisizione ed elaborazione dei dati – Analisi dell'errore.

Durante il corso saranno effettuati dei seminari riguardanti aspetti applicativi dell'aerodinamica in campo aeronautico e industriale. Gli argomenti dei seminari svolti andranno a fare parte integrante del programma e potranno essere oggetto di verifica in sede di esame

**Testi consigliati**

*Aerodinamica* – Appunti del Prof. BURESTI.

*Physical Fluid Dynamics* – D. J. TRITTON – Clarendon Press Oxford – ISBN 0-19-854493-6.

*Elementary Fluid Dynamics* – D. J. ACHESON – Clarendon Press Oxford – ISBN 0-19-859679-0.

*Viscous fluid flow* – F. WHITE – Mc Graw Hill – ISBN 0070697124.

*Fluid Mechanics measurements* – R. J. GOLDSTEIN – Taylor and Francis - ISBN 1-56032-306-X.

*An Introduction to Turbulent Flow* – J. MATHIEU, J. SCOTT – Cambridge University Press - ISBN 0-521-77538-8.

**AERODINAMICA DEGLI AEROMOBILI L**

FO, cds: dua, cla

Docente: **Alessandro Talamelli** prof. ass.

**RICHIAMI DI FLUIDODINAMICA**

Caratterizzazione dei fluidi e del loro moto-Le equazioni del moto

Origine e dinamica della vorticità-Lo strato limite-La separazione

Origine delle forze su corpi aerodinamici

**I PROFILI ALARI****Generalità**

Forma e classificazione dei profili alari

Distribuzione delle pressioni sui profili e loro prestazioni

Lo stallone dei profili alari

**Valutazione numerica della portanza sui profili alari**

Cenni sulle trasformazioni conformi - Teoria dei profili sottili

Cenni sui metodi a pannelli per i profili alari

Effetti della comprimibilità

Profili alari in regime transonico

Profili alari in regime supersonico – Shock expansion theory – Teoria linearizzata

**Valutazione numerica della resistenza sui profili alari**

Lastra piana ad incidenza nulla-Cenni sui metodi integrali

**Il progetto di profili alari**

Profili spessi-Profili ad alta capacità portante-Profili transonici (supercritici)

Sistemi di ipersostentazione

**L'ALA DI APERTURA FINITA**

Generalità-Campo di velocità e vorticità in un'ala di apertura finita



La scia e la resistenza indotta

### **Valutazione numerica della portanza sulle ali di apertura finita**

Teoria della linea portante

Cenni sui metodi a pannelli

Effetti della presenza della freccia

Effetti della comprimibilità

Ali in regime supersonico

### **Valutazione numerica della resistenza sulle ali di apertura finita**

Cenni sugli strati limite 3-D

### **Il progetto aerodinamico delle ali di apertura finita**

Geometria e distribuzione di portanza lungo l'apertura alare

Lo stallo nell'ala di apertura finita

La polare dell'ala di apertura finita

### **IL VELIVOLO COMPLETO**

Cenni sull'aerodinamica della fusoliera

La coda

La configurazione canard

Configurazione "tailless"

Stima della polare del velivolo completo

### *Testi consigliati*

*Aerodinamica* – Appunti del Prof. Buresti – Disponibili in segreteria studenti.

*Fundamentals of aerodynamics* – JOHN D. ANDERSON – Third edition – Mc Graw Hill, ISBN: 0072373350.

*Applied Aerodynamics – A Digital Textbook* – ILAN KROO – Desktop Aeronautics Inc.

### **AFFIDABILITÀ E CONTROLLO DI QUALITÀ**

**BO, cds: G\_BO**

Docente: **Mario Rinaldi** prof. ord.

*Il problema della qualità* in una struttura produttiva. Evoluzione del concetto di qualità. La qualità totale ed il miglioramento continuo. Le norme ISO del 1987. Il controllo di qualità in accettazione, in produzione, sul prodotto finale. Le norme, gli enti normatori. Le norme relative alla sicurezza ed alla funzionalità. Le certificazioni. *Il controllo di qualità*: conformità e affidabilità. Controllo di processo e di prodotto, tolleranza naturale e di specifica. La manutenzione: politiche di manutenzione e criteri di scelta.

Controlli, *collaudi, verifiche, controllo delle misurazioni* anche secondo quanto previsto dalle norme UNI EN 29000. Teoria e tecnica delle misurazioni. Necessità di una organizzazione metrologica internazionale, nazionale, aziendale. Sistemi di misura. Le unità di misura ed i campioni. Le misure eseguite direttamente con strumenti, le misure che richiedono anche trasduttori. Il controllo automatico di un sistema di produzione complesso: i sistemi di acquisizione dati come parte di una catena di regolazione. I sensori-trasduttori ed i segnali elettrici come supporto fisico delle informazioni di misura. La estrazione delle informazioni dai segnali elettrici. Gli errori di misura. Controllo di qualità in linea e fuori linea. Prove di e di tipo. Richiami di statistica di calcolo delle probabilità. Analisi statistica delle tolleranze. Il metodo di Taguchi e la funzione quadratica di perdita.

**Affidabilità.** Concetti di qualità e di fidatezza, concetto di guasto, di avaria e loro classificazione, norma CEI 56-60. Funzioni di affidabilità, distribuzione sperimentale dei guasti, modelli di azzardo, parametri di affidabilità: MTFF, MTBF, MTTR. Affidabilità di missione. Affidabilità combinatoria. Configurazioni complesse: metodo delle ispezioni, degli eventi, della probabilità condizionata, delle unioni e dei tagli minimi, tecnica della matrice di connessione. Affidabilità sperimentale: modelli sperimentali di degradazione nei componenti elettronici, prove su componenti e su sistemi. Analisi statistica dei dati di affidabilità: principali distribuzioni discrete (binomiale, di Poisson) e continue. Criteri di scelta della numerosità del campione. Tecniche di analisi dei sistemi. *Analisi dei modi e degli effetti di guasto* (FMEA) e loro criticità (FMECA). Analisi dell'albero dei guasti. Tecniche di incremento dell'affidabilità e della disponibilità. Elementi di Logistica, il processo logistico, il sistema primario ed il sistema di supporto, gli elementi del Supporto Logistico Integrato (ILS), le attività di analisi (LSA). Principali riferimenti normativi nazionali e internazionali. Affidabilità del software: modelli di affidabilità del software. Norma ISO/IEC 9126.

#### *Testi consigliati:*

G. MATTANA, *Qualità, affidabilità, certificazione*, Franco Angeli Editore.

A. GALGANO, *La qualità totale*, Ed. Il Sole-24 Ore.

T. CONTI, *Come costruire la qualità totale*, Sperling & Kupfer Editori.

A. ZANINI, *Elementi di affidabilità*, Ed. Progetto Leonardo, Bologna.

E. CARRATA, *L'affidabilità per l'elettronica*, Roma.

## **AFFIDABILITÀ E DIAGNOSTICA DEI SISTEMI ELETTRICI**

**BO, cds: E**

Docente: **Andrea Cavallini** prof. Ass.

### *Probabilità e variabili aleatorie*

Teoria delle probabilità. Eventi, algebra degli eventi. Assiomi della teoria delle probabilità e loro applicazioni. Indipendenza stocastica e probabilità condizionata. Chain rule. Il teorema della probabilità totale.

Variabili aleatorie univariate. Concetto di VA ed evento di una VA. Distribuzione e densità di probabilità. VA continue e discrete. Trasformazioni lineari. Leggi di probabilità: legge gaussiana, lognormale, esponenziale, di Weibull, di Student, di Snedecor. Distribuzioni condizionate, azzardo.

Variabili aleatorie bivariate. Eventi di VA doppie. Applicazioni di VA doppie: affidabilità ed inaffidabilità di sistemi serie e parallelo. Distribuzioni condizionate.

Momenti di variabili aleatorie. Valore atteso (media) ed altre misure di intensità. Varianza ed altre misure di dispersione. Lemma di Tchebycheff. Momenti di VA doppie: covarianza e correlazione. Valore atteso condizionato

### *Affidabilità*

Affidabilità di sistemi non riparabili. Funzioni e parametri affidabilistici. Tasso di guasto: curva "a vasca di bagno". Manuali dell'affidabilità: MIL-HDBK-217, CNET, Motorola. Sistemi complessi: concetto di missione. Diagramma affidabilistico e sua dipendenza dalla missione. Sistemi serie e parallelo. Ridondanza parziale. Sistemi riconducibili a combinazioni serie/parallelo. Sistemi non riconducibili a combinazioni serie/parallelo: il metodo della probabilità totale ed degli eventi. Influenza del modo di guasto sui diagrammi affidabilistici dei sistemi elettronici.

Affidabilità di sistemi riparabili (disponibilità). Analisi di un sistema riparabile mediante catene di Markoff: disponibilità ed indisponibilità. Frequenza di guasto. Sistemi serie e sistemi di tipo parallelo. Sistemi in ridondanza calda, tiepida e fredda.

Qualità ed affidabilità di sistemi di distribuzione e di distribuzione industriale. Concetto di qualità dell'energia. Descrizione dei fenomeni che influenzano negativamente la qualità dell'energia: armoniche, flicker, microinterruzioni e sovratensioni. Affidabilità dei sistemi industriali: analisi di un sistema di distribuzione radiale: il Gold Book della IEEE. Metodologia di incremento di affidabilità e disponibilità per le reti di distribuzione in media tensione.

Diagnostica dei sistemi elettrici. Diagnostica di sistemi isolanti mediante le scariche parziali. Diagnostica dei guasti di rotore mediante la misura delle correnti di statore.

#### Statistica

Stime empiriche. Media e varianza campionari. Utilizzo delle carte di probabilità: stima dei parametri di una legge di Weibull e di una legge Gaussiana.

Stime puntuali. Il metodo dei momenti. Il metodo della massima verosimiglianza: applicazione alla stima di media e varianza di una legge Gaussiana, parametri di forma e scala di una legge di Weibull.

#### Intervalli di confidenza

Stima di intervalli di confidenza mediante il metodo della quantità pivotale. Intervallo di confidenza per la media, per la differenza fra le medie, per la varianza, per il rapporto di varianze. Stima di intervalli mediante il metodo statistico: intervallo di confidenza per probabilità e MTTF (tasso di guasto) di una legge esponenziale.

#### Test delle ipotesi

Generalità sulla verifica di ipotesi. Test basati sull'intervallo di confidenza: test per la media, per la differenza fra due medie, per la varianza e per il rapporto di varianze. Test utilizzati nel controllo di qualità ed affidabilità: test per la probabilità e test per MTTF. Test sequenziali.

## AFFIDABILITÀ E DIAGNOSTICA DI COMPONENTI E CIRCUITI ELETTRONICI

BO, cds: L

Docente: Cecilia Metra ric.

### 1. Motivazioni principali

La qualità dei componenti e dei circuiti elettronici, elemento sempre più essenziale per la loro affermazione, è il risultato di tre elementi fondamentali del ciclo produttivo: organizzazione della produzione (orientata alla *qualità globale*), progettazione e collaudo dei componenti da immettere sul mercato, individuazione delle cause di rischio che possono deteriorare l'affidabilità dei componenti durante la loro vita operativa.

L'insegnamento si occupa di tutti questi aspetti. Il primo, essenzialmente di tipo economico-organizzativo, comprenderà seminari tenuti da tecnici e dirigenti industriali. Il secondo, che coinvolge una serie di problemi di grande interesse sotto il profilo sia scientifico che applicativo, riguarda argomenti di carattere interdisciplinare nei campi della microelettronica, delle reti logiche e della strumentazione elettronica. Particolare enfasi sarà posta sulla dei circuiti.

Il terzo, infine, coinvolge alcuni dei più interessanti ed attuali argomenti di fisica dei dispositivi (riscaldamento dei portatori di corrente, affaticamento degli isolanti, elettromigrazione delle linee di interconnessione, ...).

## 2. *Principali argomenti di interesse*

### 2.1. *Collaudo dei microcircuiti*

Principi e fondamenti del collaudo di sistemi integrati digitali. Modelli e simulazione di guasto. Generazione automatica dei vettori di collaudo. Le macchine automatiche di collaudo. Progettazione orientata al collaudo. Circuiti in grado di auto-collaudarsi. Sistemi di tipo self-checking. Architetture tolleranti ai guasti. Collaudo di circuiti analogici e di tipo misto analogico digitale.

### 2.2. *Affidabilità dei componenti*

Definizioni e trattazione matematica della affidabilità di componenti e sistemi. Prove accelerate e campionatura dei prodotti. Principali fenomeni di guasto nei circuiti integrati (fatica degli isolanti, riscaldamento dei portatori, elettromigrazione, latch-up, ...).

### 2.3. *Qualità dei componenti*

La qualità dei prodotti. Organizzazione di produzione rivolta alla qualità globale. Studio e modellistica delle rese di produzione dei processi industriali.

## 3. *Organizzazione dell'Insegnamento*

L'Insegnamento comprenderà circa 40 ore di lezioni teoriche e seminari e circa 20 ore di esercitazioni in laboratorio, soprattutto dedicate a *progettazione e collaudo dei circuiti integrati*.

È prevista la possibilità di fare la *tesi di laurea* nell'ambito degli argomenti di interesse per l'insegnamento.

## 4. *Materiale didattico*

È in preparazione da parte del Docente un testo che copre la parte principale dell'insegnamento. In attesa della pubblicazione del testo saranno disponibili delle dispense.

## 5. *Propedeuticità*

Per seguire l'insegnamento è indispensabile aver seguito gli insegnamenti di Elettronica Applicata I e II.

## **AFFIDABILITÀ E SICUREZZA DELLE COSTRUZIONI MECCANICHE**

FO, cds: dua, dum, cla, clm

Docente: **Sergio Curioni** prof. ord.

1. L'applicazione dei concetti di qualità nelle fasi di progettazione e controllo dei sistemi di produzione (la funzione perdita, il progetto di sistema, l'individuazione dei parametri fondamentali di progetto, la scelta delle tolleranze di progetto).

2. Il ruolo dei metodi statistici nella gestione dei processi di produzione.

3. I fogli di raccolta delle informazioni (definizione degli obiettivi, esempi di fogli di raccolta dati).

4. Analisi di Pareto e diagramma causa-effetto (descrizione e costruzione di un diagramma di Pareto, relazione fra diagramma di Pareto e diagramma causa-effetto, stesura e valutazione di alcuni esempi).

5. Istogrammi e diagrammi di correlazione (costruzione di un istogramma, interpretazione degli istogrammi, parametri fondamentali per rappresentare le caratteristiche di distribuzione, differenti tipi di distribuzione, costruzione ed interpretazione dei diagrammi di correlazione, calcolo dei coefficienti di correlazione e stima della retta di regressione).

6. Metodi per il controllo ed il miglioramento di un processo (la teoria del campionamento, diversi tipi di carte di controllo, la costruzione delle carte di controllo, l'interpretazione delle carte

di controllo, la formazione dei sottogruppi, il controllo di un processo utilizzando le carte di controllo, esempi di carte di controllo).

7. Introduzione all'inferenza statistica (distribuzione di parametri statistici, verifica di ipotesi, stima e significatività dei parametri utilizzati).

8. Applicazione nel settore meccanico della norma UNI-EN 29002 relativa all'organizzazione di un sistema di Garanzia di Qualità delle aziende (documentazione del sistema qualità e responsabilità operative, il manuale di garanzia di qualità e le procedure applicative).

### *Libri consigliati*

KUME H., *Metodi statistici per il miglioramento della qualità*, ed. ISEDI.

DIVOR H., CHANG T.H., SUTHERLAND J.W., *Statistical Quality Design and Control*, Ed. Maxwell MacMillan.

## **AFFIDABILITÀ E STATISTICA PER I SISTEMI ELETTRICI L**

**BO, cds: E**

Docente: **Gian Carlo Montanari** prof. straord.

1. Introduzione: Affidabilità, qualità, diagnostica e guasto dei sistemi elettrici, metodo sperimentale, analisi statistica dei risultati e stima dell'affidabilità.

2. Calcolo delle probabilità: Definizioni, esperimento aleatorio, eventi e spazi rappresentativi, probabilità, campionamento, variabile binomiale, teorema di Bernoulli, applicazioni al controllo di qualità.

3. Indipendenza e dipendenza stocastica: Probabilità condizionata, indipendenza stocastica, distribuzione binomiale e sue approssimazioni.

4. Variabili aleatorie: Variabili aleatorie continue e discrete, funzioni distribuzione e densità di probabilità, distribuzioni condizionate, funzioni di probabilità di uso comune.

5. Variabili aleatorie bivariate (doppie): Distribuzione e densità di probabilità, distribuzioni marginali, variabili aleatorie congiuntamente normali, indipendenza stocastica.

6. Momenti di una variabile aleatoria: Trasformazione lineare e quadratica, valore atteso e sue proprietà, momenti del secondo ordine (varianza e covarianza), teorema del limite centrale, lemma di Tchebycheff, momenti del terzo e quarto ordine.

7. Affidabilità: La funzione azzardo e il tasso di guasto, affidabilità di un dispositivo, MTTF e MTBF.

8. Analisi statistica dei dati sperimentali: Stima di probabilità, metodi empirici (rappresentazione per istogrammi, momenti e percentili), proprietà degli stimatori (correttezza, efficienza e consistenza).

9. Stime puntuali dei parametri delle funzioni di probabilità: Metodi della massima verosimiglianza e dei momenti, stima dei parametri delle funzioni di probabilità normale, lognormale, esponenziale, Weibull.

10. Stime per intervalli: Calcolo degli intervalli di confidenza per la media, metodi simulativi (Monte Carlo).

11. Verifica dell'ipotesi statistica: Intervallo di confidenza, test sulla media, test sul rapporto delle varianze, metodo del chiquadro.

12. Stime lineari: Regressione lineare (stima mediante i metodi della massima verosimiglianza e minimi quadrati), intervalli di confidenza.

13. Cenni sui metodi di prova su componenti e sistemi elettrici, banche dati, normativa

Esercitazioni: Stima di parametri di funzioni di probabilità e test di adattamento per mezzo di software Excel e Matlab.

### Testi consigliati:

Appunti del docente;

T.H. WONNACOT, R.J. WONNACOT, *Introduzione alla Statistica*, Franco Angeli ed.

A. ZANINI, *Elementi di Affidabilità*, Esculapio ed.

## **ANALISI DI SICUREZZA NELL'INDUSTRIA DI PROCESSO** BO, cds: R, Q, G\_BO Docente: Sarah Bonvicini ric.

*Introduzione.* Definizioni di sicurezza, pericolo, rischio. Incidenti tipici nell'industria di processo: distribuzione in relazione ai possibili danni a persone e proprietà ed alle tipologie dei sistemi e degli apparati. Case histories. Alcune misure di rischio: OSHA, FAR per incidenti in ambienti di lavoro o connessi con eventi naturali. Misure di rischio d'area: rischio locale, individuale e sociale.

*Rischi specifici delle sostanze e dei preparati chimici.* Principali parametri di pericolosità (TLV, LEL, UEL, punto di infiammabilità, ecc), etichettatura e schede di sicurezza. Le correlazioni di probit per interpretare la risposta di individui e/o strutture alla esposizione a radiazioni termiche, sovrapressioni, concentrazioni.

*Analisi di sicurezza degli impianti dell'industria di processo: normativa, procedure, case studies.*

*Identificazione degli eventi incidentali:* "safety checklists", metodo ad indici (con riferimento specifico alla normativa), HazOp, FMEA, "safety review".

*Stima delle frequenze incidentali:* analisi storiche, valutazioni probabilistiche (l'affidabilità di impianto: elementi di teoria delle probabilità; ratei di guasto dei componenti di impianto e di sistemi complessi); disponibilità di impianto e programmazione della manutenzione. Alberi di guasto e di eventi: metodi semplificati di quantificazione. Cenni al problema della quantificazione dell'errore umano.

*La valutazione delle conseguenze di incidenti.*

*Dispersioni accidentali:* Modello "sorgente" per il rilascio di tossici e/o infiammabili: efflussi accidentali di liquidi e vapori da serbatoi e tubazioni; l'evaporazione da pozze. Modello di trasmissione: il modello gaussiano, stima di masse in zona di esplosività e di aree a rischio tossico. La dispersione di gas pesanti: fenomenologie e elementi di modellistica. Equazioni di probit per i tossici. Esposizione indoor o outdoor.

*Incendi:* di jets, pozze e fireballs.

*Esplosioni:* detonazioni e deflagrazioni, VCE: semplici modelli di calcolo delle sovrapressioni. Esplosione di polveri. Reazioni esotermiche incontrollabili. Vulnerabilità degli individui e delle strutture.

*Alcuni metodi per la mitigazione dei rilasci:* sicurezza intrinseca, rivelazione delle perdite, contenimento. Gestione delle emergenze: procedure di shutdown, evacuazione, rifugi.

*Analisi dei rischi di alcune realtà impiantistiche.*

Gestione del rischio di un'area industriale e presupposti per la gestione delle emergenze esterne (criteri di accettabilità, valutazioni quantitative, comunicazione).

Per gli studenti di *ingegneria gestionale* il programma è ridotto e sono previste esercitazioni distinte, che includono anche la trattazione delle problematiche relative all'igiene e alla sicurezza negli ambienti di lavoro (aspetti tecnici, normative ed applicazioni).

## Bibliografia

### Valutazione dei Rischi e Misure di Sicurezza in Impianti e Trasporti

1. LEES, F.P., *Loss Prevention in the process industries (II ed.)*, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 1996.
2. D.A. CROWL, J. F. LOUVAR, *Chemical process Safety: Fundamentals with Applications*, Prentice Hall, NJ, 1990.
3. Centre for Chemical Process Safety of AIChE, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, USA, 1989.
4. Center for Chemical Process Safety Of AIChE, *Guidelines for chemical transportation risk analysis*, AIChE, New York, 1995.
5. Center for Chemical Process Safety Of AIChE, *Guidelines for Process Safety Fundamentals in general plant Operations*, AIChE, New York, 1995.
6. Center for Chemical Process Safety Of AIChE, *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures (II ed.)*, AIChE, New York, 1992.
7. Center for Chemical Process Safety Of AIChE, *Guidelines for Technical Planning for On-Site Emergencies*, AIChE, New York, 1995.
8. TNO, *Methods for the evaluation of physical Effects. Report CPR 14E (III ed.)*, The Director-General of Labour, The Hague, Netherlands, 1997.

### Alcune Analisi di rischio di Stabilimenti Industriali e Trasporti di Sostanze Pericolose

1. Central Environmental Control Agency Rijnmond, *Risk Analysis of Six Potentially Industrial Objects in the Rijnmond Area, a Pilot Study - A Report to the Rijnmond Public Authority*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 1982.
2. Health and Safety Executive, *Canvey: Summary of an investigation of potential hazards from operations in the Canvey Island/Thurrock Area*, HM Stationery Office, London, U.K., 1982.
3. Health and Safety Commission: *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances*, HMSO, London, 1991.
4. D. EGIDI, F.P. FORABOSCHI, G. SPADONI, A. AMENDOLA, *The ARIPAR project: an analysis of the major accident risks connected with industrial and transportation activities in the Ravenna area*, Reliability Engineering and System Safety, 49, 75, 1995.
5. G. SPADONI, D. EGIDI, S. CONTINI, *Through ARIPAR-GIS the quantified area risk analysis supports land-use planning activities*, J. Hazardous Materials, 71, 423, 2000.

### Normativa italiana di riferimento

Per i rischi di incidente rilevante

1. Direttiva 96/82/CE del Consiglio del 9 de dicembre 1996 relativa al controllo dei pericoli di incidente rilevante.
2. D. Lgs. 17.08.1999, n.334, Attuazione della Direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose, Suppl.Ord. GU 28.9.1999.

### Alcuni Siti INTERNET utili

#### Norme di legge europee:

<http://www.europa.eu.int/eur-lex/it/>

#### Schede di sicurezza, proprietà delle sostanze pericolose, process safety

<http://www.cdc.gov/niosh/npg/pgdstart.html>

<http://hazard.com/msds/links.html>

<http://physchem.ox.ac.uk/MSDS/>

<http://mahbsrv.jrc.it/>

<http://www.epa.gov/ngispgm3/iris/index.html>

Per gli studenti del Corso di laurea in Ingegneria Gestionale sono previste esercitazioni distinte, che includono anche la trattazione delle problematiche relative all'igiene e alla sicurezza negli ambienti di lavoro (aspetti tecnici, normative ed applicazioni).

### *Bibliografia*

Per l'elenco dei testi consigliati rivolgersi al Dipartimento di Ingegneria Chimica mineraria e delle Tecnologie Ambientali.

## **ANALISI MATEMATICA I**

**BO, cds: D**

Docente: **Carlo Ravaglia** prof. ass.

Numeri reali; massimo, minimo, estremo superiore ed estremo inferiore; funzioni monotone; potenze; radicali; valore assoluto; equazioni reali; disequazioni; numeri complessi; parte reale, parte immaginaria, valore assoluto di un numero complesso.

Funzioni reali di variabile reale; continuità; teorema di Weierstrass; teorema del valor intermedio; limiti; estremanti relativi; funzioni asintoticamente equivalenti, trascurabili, inferiori; principio di sostituzione per i limiti.

Serie; serie e termini positivi; criteri del confronto, del rapporto e della radice; serie assolutamente convergenti.

Derivata; differenziale; estremanti relativi e derivata; teorema di Rolle; teorema del valor medio; funzioni a derivata nulla; funzioni monotone e segno della derivata; convessità; convessità e segno della derivata seconda; polinomio di Taylor; estremanti relativi e derivate d'ordine superiore; funzioni elementari; studio di funzione.

Argomento di un numero complesso, radici complesse; logaritmi complessi.

Primitive, integrali; teorema della media integrale; integrazione per sostituzione e per parti; integrazione delle funzioni razionali; formula di Taylor con resto integrale.

Integrali impropri; integrali impropri di funzioni positive; criterio del confronto; integrali impropri assolutamente convergenti.

### *Testi consigliati*

C. RAVAGLIA, *Analisi Matematica I*, Nautilus, Bologna, 2000.

C. RAVAGLIA, *Analisi Matematica I Compiti d'Esame*, Nautilus, Bologna, 1997.

## **ANALISI MATEMATICA II**

**BO, cds: D,C**

Docente: **Carlo Ravaglia** prof. ass.

Derivata direzionale; derivata parziale; estremanti relativi e gradiente; teorema di Schwarz; funzione differenziabile in un punto e derivata; teorema del valor medio per funzioni scalari; diffeomorfismo; coordinate polari, sferiche, cilindriche; differenziali di ordine superiore; polinomio di Taylor; estremanti relativi e differenziale secondo; funzioni omogenee.

Forma differenziale; campo di vettori; forme differenziali esatte; forme differenziali chiuse; integrale curvilineo di una forma differenziale su una traiettoria; teorema di Poincaré.

Equazioni implicite; teorema di Dini.



Varietà parametrizzabile; sottovarietà dello spazio euclideo; spazio tangente; spazio normale; massimi e minimi vincolati.

Equazione differenziale; problema di Cauchy; equazioni a variabili separate; equazioni differenziali esatte; equazione differenziale di forma normale; problema di Cauchy per le equazioni di forma normale;

equazioni a variabili separabili; sistema di equazioni differenziali del primo ordine; equazioni differenziali di ordine superiore al primo.

Equazioni differenziali lineari del primo ordine; sistemi di equazioni differenziali lineari del primo ordine; sistemi lineari omogenei; sistema omogeneo a coefficienti costanti; sistemi lineari non omogenei; equazioni differenziali lineari di ordine  $n$ ; equazione omogenea a coefficienti costanti; equazione caratteristica; equazioni lineari non omogenee.

Intervallo di  $\mathbb{R}^N$ ; insieme di misura nulla; funzioni di Riemann.

Funzione integrabile secondo Riemann ed integrale; significato geometrico di integrale; integrale da  $x$  a  $y$ ; funzione integrale; teorema fondamentale del calcolo integrale; formula di Leibniz-Newton.

Integrale di una funzione continua positiva su un compatto; insiemi misurabili secondo Lebesgue; funzioni misurabili secondo Lebesgue; integrale di Lebesgue di funzioni misurabili positive; teorema della convergenza monotona; teorema della convergenza dominata; integrale su un sottoinsieme del prodotto cartesiano; cambiamento di variabile; funzioni integrabili secondo Lebesgue; integrale di una funzione integrabile.

Varietà con bordo; domini regolari.

Graamiano di  $m$  vettori; prodotto vettoriale di  $N-1$  vettori; integrale di una funzione su una varietà parametrizzabile; integrali curvilinei e integrali di superficie di funzioni.

Varietà parametrizzabili orientate; varietà orientabile orientata.

Forme  $m$ -lineari alternanti; differenziale di una  $m$ -forma; divergenza di un campo di vettori; rotore di un campo di vettori.

Integrale di una  $m$ -forma su una varietà parametrizzabile orientata; integrale di una 1-forma; lavoro di un campo di vettori; integrale di una 2-forma; integrale di una  $(N-1)$ -forma; flusso di un campo di vettori.

Teorema di Stokes (T-E); teorema di Stokes applicato alle 0-forme; formula di Green nel piano; formula di Stokes classico; teorema della divergenza.

## ANALISI MATEMATICA LA

CE, cds: dud

Docente: Sebastiano Cappuccio prof. inc.

Insiemi numerici: Numeri naturali, interi, razionali. Numeri reali, ordinamento, estremo inferiore e superiore, completezza; numeri complessi in forma algebrica, trigonometrica e esponenziale. Teoremi di De Moivre, radici  $n$ -esime di numeri complessi.

Funzioni reali di variabile reale. Insieme naturale di definizione, immagine, invertibilità. Grafici di funzioni sottoposte a trasformazioni elementari.

Limiti, teoremi fondamentali, limiti notevoli. Infinitesimi. Successioni e serie, in particolare serie geometrica. Continuità, teorema degli zeri, punti di discontinuità.

Derivata e suo significato geometrico. Regole di derivazione. Derivata di funzioni composte e dell'inversa. Derivate successive, formula di Taylor; studio di funzioni.

Primitiva di una funzione continua. Integrale definito. Teorema fondamentale, regole di integrazione, integrali impropri.

**ELEMENTI DI ALGEBRA**

Operazioni in un insieme, la struttura di gruppo, gli anelli e i campi.

Relazioni tra insiemi.

**ELEMENTI DI ALGEBRA LINEARE E GEOMETRIA ANALITICA**

Vettori nel piano e nello spazio, somma, combinazione lineare, prodotto scalare e vettoriale.

Brevi richiami di geometria analitica nel piano e nello spazio. Linee in forma parametrica.

Vettori in  $R^n$ . Dipendenza lineare.

Matrici, operazioni, inversa. Determinanti, teoremi di Laplace, rango di una matrice.

Sistemi lineari, teorema di Rouché Capelli. Autovalori e autovettori.

È fortemente raccomandato l'uso di uno strumento di calcolo (calcolatrice grafica, calcolatrice simbolica, Computer Algebra System).

**ANALISI MATEMATICA LA**

BO, cds: R, Q

Docente: **Giovanna Citti** prof. straord.

**Successioni in  $R$ .** Successioni convergenti, divergenti, limitate. Unicità del limite, proprietà algebriche dei limiti (somme, prodotti, quozienti, valore assoluto). Teorema del confronto, dei due carabinieri, teorema di permanenza del segno. Successioni reali monotone: definizione e teorema di esistenza del limite di tali successioni. In particolare la successione che definisce il numero reale  $e$ . Confronto tra diversi infiniti e infinitesimi. Definizione di  $o$  piccolo.

**Funzioni reali di una variabile reale** Generalità sulle funzioni: dominio, immagine, composizione di funzioni, funzione inversa di una funzione invertibile. Funzioni monotone. Definizione di intervalli reali. Funzioni elementari: le funzioni potenze, esponenziali, logaritmiche. Le funzioni circolari.

**Limiti e continuità.** Definizione di limite di una funzione. Limiti da destra e da sinistra. Relazione fra l'esistenza di limite e del limite da destra e da sinistra. Definizione di funzione continua in un punto del suo dominio. Operazioni sui limiti e sulle funzioni continue (somme, prodotti, quozienti, composizioni).

**Proprietà globali delle funzioni continue.** I teoremi fondamentali sulle funzioni continue definite su un intervallo: degli zeri, di Bolzano, di Weierstrass. Massimo, minimo, estremo superiore ed inferiore di una funzione. Immagine di un intervallo tramite una funzione continua.

**Calcolo differenziale per funzioni reali** Definizione di derivata di una funzione in un punto. Definizione di funzione differenziabile. Significato geometrico della derivata di una funzione in un punto, retta tangente al grafico di una funzione in un punto. Regole di derivazione (somme, prodotti, quozienti, composizione). Teorema che lega la derivabilità e la continuità di una funzione. Teorema che lega la derivabilità e la differenziabilità. Derivate delle funzioni elementari.

**Alcune applicazioni del calcolo differenziale** Punti di massimo e di minimo relativo di una funzione, teorema di Fermat, teorema del valor medio. Teorema che lega la monotonia di una funzione al segno della derivata. Derivate di ordine superiore. Funzioni convesse e concave in un intervallo di  $R$ . Formula di Taylor di ordine  $n$  con resto nella forma di Peano

**Integrale di Riemann** Definizione di integrale secondo Riemann. Le proprietà di additività, di linearità, di monotonia dell'integrale. Definizione di primitiva. Teorema fondamentale del calcolo integrale. Integrazione per parti e per mezzo di un cambiamento di variabile. Calcolo dell'integrale delle funzioni razionali e di alcune classi di funzioni non razionali.

**Modalità d'esame:** L'esame consta di una prova scritta (che può essere suddivisa in due prove intermedie per coloro che frequentano) e una prova orale.

*Testi consigliati:*

M. BRAMANTI, PAGANI, SALSA, *Matematica*, Zanichelli.

**ANALISI MATEMATICA LA****BO, cds: G\_BO, P**

Docente: **Giovanni Dore** prof. ord.

**SUCCESSIONI.**

Definizione di successione di numeri reali convergente e divergente. I teoremi di unicità del limite, del confronto, di permanenza del segno. Operazioni sui limiti. Successioni monotone e loro limiti. Il numero  $e$ .

**FUNZIONI ELEMENTARI.**

Le funzioni potenza, esponenziale, logaritmo, trigonometriche, trigonometriche inverse, iperboliche e iperboliche inverse.

**LIMITI E CONTINUITÀ PER FUNZIONI DI UNA VARIABILE.**

Definizione di limite per funzioni reali di variabile reale, estensione dei risultati stabiliti per le successioni. Richiami sulle funzioni: composizione di funzioni, funzioni invertibili e funzioni inverse. Limite di funzione composta. Limiti destri e sinistri. Funzioni monotone e loro limiti. Definizione e proprietà delle funzioni continue. I teoremi degli zeri, dei valori intermedi e di Weierstrass. Asintoti.

**CALCOLO DIFFERENZIALE PER FUNZIONI DI UNA VARIABILE.**

Definizione di funzione derivabile e di derivata. Teoremi sul calcolo delle derivate. Teoremi di Rolle, di Lagrange, di de l'Hôpital, applicazione allo studio della monotonia di una funzione. Derivate di ordine superiore. Formula di Taylor. Estremanti relativi: definizione, condizioni necessarie, condizioni sufficienti. Funzioni convesse.

**CALCOLO INTEGRALE.**

Definizione di integrale. Proprietà dell'integrale: linearità, additività, teorema della media. I teoremi fondamentali del calcolo integrale. Integrazione per parti e per sostituzione.

**NUMERI COMPLESSI.**

Definizione di numero complesso. Le operazioni sui numeri complessi. Forma algebrica e forma trigonometrica di un numero complesso. Radici di un numero complesso. Risoluzione di equazioni in campo complesso.

*Testi consigliati*

M. BRAMANTI – C.D. PAGANI – S. SALSA: *MATEMATICA*, Ed. Zanichelli.

S. SALSA – A. SQUELLATI: *Esercizi di matematica*, Vol. 1, Ed. Zanichelli.

**ANALISI MATEMATICA LA**

BO, cds: I(A, E), A

Docente: **Simonetta Abenda ric.****Premesse:**

$N, Z, Q, R$ , relazioni di ordine: minimo e massimo, estremi superiore e inferiore di un sottoinsieme di  $R$ . Dominio e condominio di una funzione, funzioni, grafico, iniettività, suriettività, immagine, controimmagine, funzione inversa, funzione composta.

Principio di induzione. Densità di  $Q$  in  $R$ . Funzioni elementari (funzione ad esponente intero, radice  $n$ -esima, esponenziale, logaritmo, funzioni circolari ed inverse, funzione valore assoluto).

**Numeri complessi**

Il campo dei numeri complessi, forma algebrica, modulo e argomento, forma trigonometrica, radici, equazioni algebriche in campo complesso.

**Limiti**

Intorni, punti di accumulazione, teorema di Bolzano-Weierstrass. Limiti finiti e infiniti di funzioni di variabile reale a valori reali, limite destro e sinistro. Proprietà del limite: unicità, località, locale limitatezza; proprietà algebriche del limite e teorema del confronto. Limiti di funzioni monotone, limiti di successioni. Forme indeterminate: infiniti e infinitesimi. Continuità e derivata di una funzione di variabile reale a valori in  $R$ . Simboli di Landau. Teorema di de l'Hôpital per forme indeterminate. Limiti notevoli.

**Continuità**

Funzioni continue di variabile reale a valori in  $R$ . Continuità della funzione composta. Permanenza del segno. Proprietà delle funzioni continue definite su intervalli: teorema di Weierstrass, teorema di Bolzano, teorema degli zeri, teorema su invertibilità e monotonia, teorema di continuità della funzione inversa. La funzione di Dirichlet non è continua in alcun punto del dominio.

**Derivazione**

Interpretazione geometrica e meccanica della derivata, differenziale, derivate di ordine superiore, derivate delle funzioni elementari. Regole di derivazione: derivata della somma di funzioni, regola di Leibniz, derivata della funzione reciproca, derivata della funzione inversa, derivata della funzione composta. Proprietà delle funzioni derivabili su intervalli: teorema di Rolle, teorema di Lagrange, funzioni a derivata nulla e funzioni costanti, primitiva, teorema su monotonia e segno della derivata. Funzioni convesse: definizione e interpretazione geometrica, teorema su convessità e monotonia della derivata prima, teorema su convessità e segno della derivata seconda.

**Formula di Taylor**

Polinomio di Taylor, unicità del polinomio di grado minore o uguale a  $n$  che approssima una funzione all'ordine  $n$ (\*), formula di Taylor con il resto di Peano (dimostrazione nei casi  $n=1$  e  $n=2$ ), proprietà delle derivate del polinomio di Taylor; formula di Taylor con il resto di Lagrange, formula di Taylor delle funzioni elementari:  $\exp(x)$ ,  $\cos(x)$ ,  $\sin(x)$ ,  $\cosh(x)$ ,  $\sinh(x)$ ,  $(1+x)^a$ ,  $1/(1-x)$ ,  $1/(1+x)$ ,  $1/(1-x^2)$ ,  $1/(1+x^2)$ ,  $\log(1+x)$ , applicazione ai limiti di forme indeterminate..

**Analisi qualitativa delle funzioni**

Asintoti: verticale, orizzontale, obliquo; punti singolari di prima e seconda specie, punti angolosi, cuspidi, punti estremanti locali, punti stazionari, i punti estremanti interni sono stazionari, condizioni sufficienti (mediante le derivate) perché un punto sia stremante locale, punti di flesso: definizione e interpretazione geometrica, condizioni necessarie e condizioni sufficienti (mediante le derivate) perché un punto sia di flesso. Metodi numerici per la determinazione di zeri di funzioni continue: metodo di bisezione, metodo di Newton, metodo delle corde.

**Integrazione**

Definizione di integrale di Riemann per funzioni limitate definite su intervalli limitati. La funzione di Dirichlet non è integrabile secondo Riemann. Proprietà dell'integrale: linearità, monotonia, additività. Teorema della media integrale. Le funzioni continue sono integrabili. Le funzioni monotone sono integrabili. Funzione integrale e funzione primitiva. Il teorema fondamentale del calcolo integrale per le funzioni continue. Regola di Torricelli. Teorema di integrazione per parti e teorema di integrazione per sostituzione. Integrazione delle funzioni razionali. Integrale di Riemann generalizzato. Criterio del confronto per la convergenza dell'integrale generalizzato di una funzione positiva.

**Equazioni differenziali del primo ordine**

Integrale generale di un'equazione differenziale, problema di Cauchy e principio di causalità. Teorema di esistenza, unicità e rappresentazione integrale della soluzione del problema di Cauchy di un'equazione differenziale del primo ordine lineare. Teorema di esistenza, unicità e rappresentazione in forma implicita della soluzione del problema di Cauchy di un'equazione differenziale a variabili separabili.

**Testi consigliati**

S. ABENDA-S. MATARASSO, *Analisi Matematica* (Progetto Leonardo, Esculapio 1999).  
S. ABENDA-S. MATARASSO-A. PARMEGGIANI, *Esercizi di Analisi Matematica*, parte I (Progetto Leonardo, Esculapio 2000)

**ANALISI MATEMATICA LA****FO, cds: cla, clm**Docente: **Davide Guidetti** prof. straord.

Insiemi e funzioni - Numeri reali - Numeri complessi - Generalità per funzioni di una variabile reale - Funzioni continue - Calcolo differenziale per funzioni di una variabile reale - Integrale di Riemann per funzioni di una variabile - Integrali generalizzati - Serie.

**Testi consigliati**

Dispense del Docente.

**ANALISI MATEMATICA LA****BO, cds: M, E, T**Docente: **Enrico Obrecht** prof. ord.**LIMITI E CONTINUITÀ.**

Definizione di successione di numeri reali convergente e divergente. I teoremi sui limiti di successione: unicità del limite, teoremi di confronto, dei due carabinieri. L'algebra dei limiti. Successioni monotone e loro limiti. Il numero  $e$ . Definizione di funzione reale di una variabile reale continua. I teoremi di Weierstrass, degli zeri e dei valori intermedi. Definizione di limite per funzioni reali di una variabile reale; estensione dei risultati stabiliti per le successioni. Richiami sulle funzioni: composizione di funzioni, funzioni invertibili e funzioni inverse. Continuità della composizione di due funzioni continue e il teorema di cambiamento di variabile nei limiti. Limiti da destra e da sinistra. Funzioni monotone e loro limiti. Asintoti. Le funzioni circolari inverse. Le funzioni iperboliche e le loro inverse.

**CALCOLO DIFFERENZIALE.**

Definizione di funzione derivabile e di derivata. Il calcolo delle derivate. I teoremi del valor medio e loro applicazione allo studio della monotonia di una funzione. Derivate di ordine superiore. Formula di Taylor. Estremanti relativi: definizione, condizioni necessarie, condizioni sufficienti. Funzioni convesse. Cenni alle funzioni di più variabili: definizione di derivata parziale e di gradiente. Cenni alle funzioni vettoriali di una variabile reale: definizione di derivata.

**CALCOLO INTEGRALE.**

Definizione di integrale per funzioni continue. Proprietà dell'integrale: linearità, additività, teorema della media. I teoremi fondamentali del calcolo integrale. I teoremi di cambiamento di variabile e di integrazione per parti.

**NUMERI COMPLESSI.**

Definizione di numero complesso. Le operazioni sui numeri complessi. Forma algebrica e forma trigonometrica di un numero complesso. Radici di un numero complesso. Risoluzione di equazioni in campo complesso.

*Testi consigliati*

M. BRAMANTI - C.D. PAGANI - S. SALSA: *Matematica*, Zanichelli.

**ANALISI MATEMATICA LA**

BO, cds: L, I (F, Z)

Docente: **Fabio Ancona** prof. ass.

**1. I numeri e i concetti generali sulle funzioni numeriche**

I numeri naturali  $\mathbb{N}$ , i numeri interi  $\mathbb{Z}$ , i numeri razionali  $\mathbb{Q}$ , ed i numeri reali  $\mathbb{R}$ . Operazioni algebriche su  $\mathbb{R}$  e loro proprietà. Rappresentazione geometrica dei numeri reali. Assioma di Dedekind di continuità o completezza dell'insieme dei numeri reali (postulato degli intervalli incapsulati). Rappresentazione decimale dei numeri reali. Ordinamento totale dell'insieme dei numeri reali e compatibilità dell'ordine con le operazioni algebriche. Valore assoluto, o modulo, di un numero reale. Disuguaglianza triangolare. Generalità sulle funzioni reali di una variabile reale: dominio, immagine, grafico. Funzioni limitate, monotone, simmetriche (pari e dispari), periodiche. Composizione di funzioni, funzione identità, funzioni iniettive, funzione inversa di una funzione invertibile.

**2. Funzioni di una variabile reale I: continuità**

Definizione di continuità di una funzione in un punto del suo dominio. Punti di discontinuità: discontinuità a salto, discontinuità infinite e discontinuità che non ammettono valori limite a sinistra ed a destra. Continuità di una funzione in un intervallo. Teorema dei valori intermedi e teorema di Bolzano (o degli zeri) per funzioni continue su un intervallo. Continuità della funzione inversa di una funzione continua, strettamente monotona, definita su un intervallo. Continuità della funzione composta. Definizione e proprietà delle funzioni elementari: funzioni potenza, funzioni esponenziali e logaritmiche, funzioni iperboliche, funzioni trigonometriche (e loro funzioni inverse).

**3. Successioni numeriche: limiti - Principio di induzione matematica**

Successioni di numeri reali: definizione di limite, unicità del limite. Successioni convergenti, divergenti ed irregolari. Successioni convergenti sono limitate. Proprietà algebriche dei limiti finiti di successioni ed estensione di questi risultati ai limiti infiniti. Teorema di permanenza del segno e teorema del confronto per successioni. Esistenza del limite di una successione monotona.

Una particolare classe di successioni monotone: le serie (infinite) numeriche a termini non negativi. Il numero di Nepero e definito come somma di una serie o come limite di una successione. Confronto tra diversi infiniti ed infinitesimi. La gerarchia degli infiniti e degli infinitesimi. Il principio dell'induzione matematica. Un'applicazione: la disuguaglianza di Bernoulli.

#### **4. Funzioni di una variabile reale II: limiti, asintoti e ulteriori proprietà delle funzioni continue**

Definizione di limite (finito ed infinito) di una funzione in un punto ed all'infinito. Unicità del limite. Limiti unilateri: destri e sinistri. Caratterizzazione del limite di una funzione e della continuità in un punto tramite i limiti di successioni. Operazioni algebriche con i limiti finiti di funzioni ed estensione di questi risultati ai limiti infiniti. Forme di indeterminazione. Limite della funzione composta. Teorema di permanenza del segno e teorema del confronto per funzioni. Tecniche di calcolo dei limiti. Limiti notevoli. Confronto tra diversi infiniti ed infinitesimi (simboli di Landau  $o(\cdot)$  di "o piccolo" e  $O(\cdot)$  di "O grande"). La gerarchia degli infiniti (logaritmi, potenze, esponenziali, fattoriale) e degli infinitesimi. Definizione di asintoto orizzontale, verticale ed obliquo. Definizione di punto di massimo e di minimo assoluto per una funzione. Teorema di Weierstrass sui massimi e minimi di funzioni continue definite su un intervallo.

#### **5. I numeri complessi**

Definizioni dei numeri complessi  $\mathbb{C}$  mediante le coppie ordinate di numeri reali. Operazioni algebriche su  $\mathbb{C}$  e loro proprietà. Identificazione di  $\mathbb{R}$  con un sottoinsieme di  $\mathbb{C}$ . Incompatibilità delle operazioni algebriche con un ordinamento su  $\mathbb{C}$ . Forma algebrica dei numeri complessi. Parte reale, parte immaginaria, modulo, coniugato di un numero complesso e loro proprietà. Disuguaglianza triangolare. Argomento di un numero complesso. Forma trigonometrica di un numero complesso. Teorema di De Moivre sul prodotto, sul quoziente e sulla potenza di numeri complessi. Radici  $n$ -sime di un numero complesso.

#### **6. Calcolo differenziale per funzioni di una variabile reale I: derivabilità e proprietà delle funzioni derivabili**

Definizione di derivata di una funzione. Derivata destra e sinistra. Retta tangente al grafico di una funzione. Studio dei punti di non derivabilità: punti angolosi, di cuspidi, altri punti a tangenza verticale. Regole di derivazione delle funzioni elementari. Calcolo delle derivate di somme, prodotti e quozienti di funzioni derivabili. Derivata della funzione composta e della funzione inversa. La derivabilità di una funzione in un punto implica la continuità della funzione nel punto. Uso delle derivate per la ricerca dei massimi e minimi di una funzione: Teorema di Fermat. Teorema di Rolle. Teorema di Lagrange. (o del valor medio). Caratterizzazione delle funzioni monotone e derivabili su intervalli tramite il segno della loro derivata. Le funzioni con derivata nulla su un intervallo sono tutte e sole le costanti.

#### **7. Calcolo differenziale per funzioni di una variabile reale II: derivate di ordine superiore, ricerca degli estremi e approssimazioni lineari**

Derivate di ordine superiore. Funzioni concave e convesse e loro proprietà. Flessi: definizione e utilizzo della derivata seconda per la loro ricerca. Uso delle derivate prima e seconda per lo studio del grafico di una funzione. Teorema di de l'Hôpital. Formula di Taylor al secondo ordine col resto secondo Peano e secondo Lagrange. Estensione della formula di Taylor all'ordine  $n$ .

#### **8. Calcolo integrale per funzioni di una variabile reale I: l'integrale secondo Riemann, la funzione primitiva e i teoremi fondamentali del calcolo**

Definizione di integrale di Riemann per funzioni continue di una variabile reale definite su

intervalli chiusi e limitati. Proprietà fondamentali dell'integrale: additività rispetto all'intervallo di integrazione, linearità e monotonia rispetto alla funzione integranda. Teorema della media integrale. Primitiva e funzione integrale di una funzione definita su un intervallo. I due teoremi fondamentali del calcolo integrale. Definizione di integrale indefinito per una funzione continua su un intervallo chiuso e limitato.

### 9. Calcolo integrale per funzione di una variabile reale II: metodi di integrazione

Metodi di calcolo per gli integrali definiti e indefiniti. Metodo di sostituzione e di integrazione per parti. Tecniche di calcolo dell'integrale di alcune classi di funzioni razionali, di funzioni trigonometriche e di funzioni irrazionali.

### 10. Equazioni differenziali del primo ordine

Definizione di soluzione e di integrale generale di un'equazione differenziale del primo ordine in forma normale. Problema di Cauchy per un'equazione differenziale del primo ordine. Equazioni differenziali lineari del primo ordine: equazione omogenea, equazione completa. Metodi di soluzione di un'equazione omogenea e per la determinazione di una soluzione particolare di un'equazione non omogenea. Equazioni differenziali (non lineari) a variabili separabili: esistenza locale e metodo di determinazione della soluzione di un problema di Cauchy.

#### Testi di riferimento

M. BRAMANTI, C.D. PAGANI & S. SALSA, *Matematica (Calcolo infinitesimale e algebra lineare)*, Ed. Zanichelli, 2000.

R.A. ADAMS, *Calcolo differenziale 1 (funzioni di una variabile reale)*, Ed. C.E.A., 1999.

S. SALSA & A. SQUELLATI, *Esercizi di Matematica, Vol. I*, Ed. Zanichelli, 2001.

S. ABENDA, S. MATARASSO & A. PARMEGGIANI, *Esercizi di Analisi Matematica (Parte I)*, Ed. Progetto Leonardo, 2001.

### ANALISI MATEMATICA LA

BO, cds: C, N

Docente: Pier Luigi Papini prof. ord.

Funzioni reali di una variabile reale.

Calcolo differenziale. Formula di Taylor.

Calcolo integrale: primitive; integrale definito; funzioni integrali.

Integrali impropri.

L'esame consta di una prova scritta, cui segue una breve prova orale.

#### Testo di riferimento:

F. PARODI, T. ZOLEZZI, *Appunti di Analisi Matematica*, ediz. ECIG, Genova 2002.

### ANALISI MATEMATICA LB

BO, cds: I(A-E), A

Docente: Nicola Arcozzi ric.

Integrali generalizzati e serie. Integrali generalizzati: definizioni, assoluta convergenza, criterio del confronto. Serie: definizioni, assoluta convergenza, criteri di convergenza; confronto



con gli integrali generalizzati.

Equazioni differenziali. Equazioni differenziali del I ordine a variabili separabili. Equazioni differenziali lineari del I ordine, omogenee e non omogenee. Equazioni differenziali lineari del II ordine, omogenee e non omogenee: integrale generale, problema di Cauchy. Soluzione delle equazioni differenziali lineari a coefficienti costanti.

Continuità per funzioni di più variabili reali. Proprietà del prodotto scalare. Proprietà topologiche dei sottoinsiemi dello spazio euclideo (punti di frontiera, punti interni, punti di accumulazione). Successioni nello spazio euclideo e loro limiti. Definizione di limite e continuità in un punto per funzioni di più variabili reali. Teorema di Weierstrass e conseguenze.

Calcolo differenziale in più variabili. Definizione di funzione di classe  $C[1]$ , sua continuità e differenziabilità, differenziale e matrice Jacobiana. Differenziabilità, Jacobiana e derivate parziali della composizione di funzioni di classe  $C[1]$ . Teorema del valor medio. Gradiente di una funzione reale, interpretazione geometrica. Derivate parziali di ordine superiore al primo, teorema di Schwartz sulle derivate parziali seconde, funzioni di classe  $C[k]$ . Formula di Taylor con resto nella forma di Peano. Estremanti relativi: definizione, condizioni necessarie e sufficienti in termini di calcolo differenziale. Teorema dei moltiplicatori di Lagrange.

Integrali doppi e tripli. Definizione di integrale doppio per funzioni continue su un rettangolo e teorema di riduzione. Definizione e teorema di riduzione per insiemi semplici nel piano. Integrali tripli. Teorema del cambiamento di variabili; cambiamenti lineari di variabili; coordinate polari, cilindriche e sferiche.

Integrali curvilinei. Definizione di curve regolari, semplici, aperte, chiuse. Definizione di integrale di prima specie di una funzione definita su una curva; lunghezza di una curva. Definizione di campi vettoriali, campi vettoriali chiusi e conservativi. Definizione di integrale di linea di II specie. Integrali di linea di campi conservativi, il teorema di Poincaré, applicazioni alla ricerca di un potenziale per un campo conservativo.

## ANALISI MATEMATICA LB

Docente: Fabio Ancona prof. ass.

BO, cds: I (G-Z)

### 1. Serie numeriche

Somme parziali (o ridotte)  $n$ -sime, somma di una serie; serie regolari e serie oscillanti; serie geometrica; condizione necessaria per la convergenza di una serie; divergenza della serie armonica; serie a termini non negativi, criterio del confronto e del confronto asintoto, criterio del rapporto, criterio della radice, criterio di condensazione; serie a termini di segno variabile, criterio di Leibniz; convergenza assoluta di una serie e relazione con la convergenza semplice.

### 2. Equazioni differenziali lineari del secondo ordine

Proprietà dell'insieme delle soluzioni di un'equazione differenziale lineare omogenea del secondo ordine; Wronskiano di due soluzioni; teorema di Wronskiano. Integrale generale di un'equazione differenziale lineare non omogenea. Problema di Cauchy associato ad un'equazione differenziale lineare del secondo ordine. Equazioni del secondo ordine a coefficienti costanti. Metodi per la determinazione dell'integrale generale di un'equazione omogenea, e di un integrale particolare di un'equazione completa non omogenea (metodo di Lagrange e metodo di somiglianza per equazioni non omogenee a coefficienti costanti).

### 3. Calcolo infinitesimale per funzioni di più variabili reali

Intorno di un punto. Insiemi aperti e chiusi. Frontiera, chiusura ed interno di un insieme.

Limiti e continuità di funzioni di più variabili. Insiemi connessi. Immagine tramite una funzione continua di un insieme connesso è un insieme connesso.

#### 4. Calcolo differenziale per funzioni scalari di più variabili reali

Derivate parziali; derivate direzionali; gradiente e proprietà. Piano tangente a una superficie grafico cartesiano di una funzione  $f(x, y)$ . Differenziabilità e differenziale. La differenziabilità di una funzione in un punto implica la continuità. Differenziabilità e derivabilità: formula del gradiente. Funzioni di classe  $C^1$ . Funzioni con gradiente nullo su aperti connessi sono costanti. Derivazione della funzione composta. Derivate parziali di ordine superiore; lemma di Schwarz; matrice hessiana. Differenziale secondo; formula di Taylor del secondo ordine con resto secondo Peano.

#### 5. Calcolo differenziale per funzioni vettoriali

Derivate parziali; matrice Jacobiana e differenziale. Differenziabilità e matrice Jacobiana della funzione composta e della funzione inversa. Operatori differenziali: divergenza, gradiente, rotore.

#### 6. Ottimizzazione I – Estremi liberi

Punti estremanti locali: massimi e minimi locali. Punti critici interni. Punti di selle. Teorema di Weierstrass sull'esistenza di estremi assoluti di funzioni continue definite su insiemi chiusi e limitati. Condizione necessaria del prim'ordine per l'esistenza di punti estremanti interni. Forme quadratiche: proprietà e loro classificazione. Condizione necessaria del secondo ordine affinché un punto interno sia estremamente locale. Condizione sufficiente del secondo ordine affinché un punto interno critico sia estremamente locale.

#### 7. Ottimizzazione II – Varietà ed estremi vincolati

Rappresentazione di curve e superfici in forma implicita. Teorema di Dini nel piano  $\mathbb{R}^2$  e nello spazio  $\mathbb{R}^3$  sull'esistenza locale di una curva parametrica o di una superficie parametrica implicitamente definite da un'equazione o da un sistema di equazioni. Spazio tangente e spazio normale ad una curva (o superficie) implicitamente definite. Equazione della retta tangente ad una curva implicitamente definita da un'equazione  $g(x, y) = 0$ . Punti estremanti locali e punti critici vincolati su una curva o su una superficie. Il gradiente di una funzione  $f$  in un punto critico  $x_0$  di  $f$  vincolato su una curva (o superficie) appartiene allo spazio normale alla curva (o superficie) nel punto  $x_0$ . Condizione necessaria affinché un punto di una curva (o superficie) definita in forma implicita sia estremante locale per una funzione definita sulla curva (o superficie) (metodo dei moltiplicatori di Lagrange).

#### 8. Curve parametriche e integrali curvilinei di funzioni scalari

Curve continue in forma parametrica; equazione e traiettoria (o sostegno), cambiamento di parametrizzazione. Curve parametriche chiuse. Vettore tangente alla traiettoria di una curva in un punto. Curve parametriche regolari. Curve parametriche rettificabili; lunghezza di una curva parametrica; ascissa curvilinea (o lunghezza d'arco). Curve parametriche di classe  $C^1$  regolari sono rettificabili. Integrale curvilineo rispetto alla lunghezza d'arco (o di prima specie) di una funzione scalare continua lungo una curva parametrica regolare. Esempi: massa, baricentro e momento d'inerzia.

#### 9. Lavoro (integrale curvilineo di una forma differenziale)

Lavoro di un campo vettoriale continuo lungo una curva parametrica regolare orientata (integrale curvilineo di seconda specie di una forma differenziale). Campo vettoriale conservativo e potenziale di un campo conservativo. Il lavoro di un campo vettoriale conservativo lungo una curva regolare orientata dipende solamente dagli estremi della curva. Condizione necessaria af-

finché un campo vettoriale di classe  $C^1$  sia conservativo è che sia irrotazionale. Insiemi convessi, stellati e semplicemente connessi; esempi. Condizione sufficiente affinché un campo vettoriale irrotazionale di classe  $C^1$  sia conservativo è che il dominio sia semplicemente connesso. Metodi per la ricerca del potenziale di un campo conservativo. Formula di Gauss-Green su domini di  $\mathbb{R}^2$  normali rispetto ad entrambi gli assi.

#### 10. Integrale multiplo (secondo Riemann)

Integrabilità secondo Riemann di funzioni scalari continue, definite su domini normali e su domini regolari di  $\mathbb{R}^2$  e  $\mathbb{R}^3$ . Proprietà dell'integrale: linearità, monotonia, additività rispetto al dominio di integrazione. Formule di riduzione per integrali doppi e tripli di funzioni continue definite su domini normali di  $\mathbb{R}^2$  e  $\mathbb{R}^3$ . Formule di riduzioni per integrali tripli di funzioni continue. Volume di solidi di rotazione. Cambiamento delle variabili di integrazione negli integrali doppi e tripli (trasformazione in coordinate polari ed ellittiche, cilindriche e sferiche) Applicazioni: calcolo di massa, baricentro e momento d'inerzia. Integrali doppi generalizzati di funzioni continue illimitate e di funzioni continue su domini illimitati.

#### 11. Superfici parametriche e integrali superficiali

Superfici continue di  $\mathbb{R}^3$  in forma parametrica: equazione curve coordinate, vettori tangenti alle curve coordinate. Superfici parametriche regolari, esempi. Piano tangente in un punto ad una superficie parametrica regolare. Versore normale ad una superficie parametrica regolare ed orientamento della superficie. Area di una parametrica regolare. Integrale superficiale di una funzione scalare continua su una superficie parametrica regolare. Flusso di un campo vettoriale continuo attraverso una superficie parametrica regolare orientata. Teorema della divergenza su domini limitati di  $\mathbb{R}^3$ .

#### Testi di riferimento

- M. BRAMANTI, C.D. PAGANI & S. SALSA: *Matematica (calcolo infinitesimale e algebra lineare)*, Ed. Zanichelli, 2000.  
 S. ABENDA & S. MATARASSO: *Analisi Matematica*, Ed. Progetto Leonardo, 2000.  
 S. ABENDA, S. MATARASSO & A. PARMEGGIANI: *Esercizi di Analisi Matematica (Parte II)*, Ed. Progetto Leonardo, 2001.  
 S. SALSA & A. SQUELLATI: *Esercizi di Analisi Matematica 2 (Parte I, II, III)*, Ed. Masson, 1993.

#### ANALISI MATEMATICA LB

BO, cds: G\_Bo, P

Docente: Giovanni Dore prof. ord.

#### INTEGRALE GENERALIZZATO IN $\mathbb{R}$ .

Definizione, assoluta integrabilità in senso generalizzato, criteri di confronto,

#### LIMITI E CONTINUITÀ PER FUNZIONI DI PIÙ VARIABILI.

Definizione di limite per funzioni reali e vettoriali di più variabili reali. I teoremi dei valori intermedi e di Weierstrass. Asintoti.

#### CALCOLO DIFFERENZIALE PER FUNZIONI DI PIÙ VARIABILI.

Derivate parziali, matrice jacobiana e differenziabilità per funzioni di più variabili reali: definizione e proprietà fondamentali. Funzioni di classe  $C^1$ . Derivate parziali di ordine superiore.

Estremanti relativi per funzioni reali di più variabili reali: definizioni, condizioni necessarie, condizioni sufficienti.

#### INTEGRALE MULTIPLO.

Cenno alla misura di Peano - Jordan. Definizione di integrale di Riemann per funzioni limitate di più variabili. I teoremi di riduzione e di cambiamento di variabile.

#### EQUAZIONI DIFFERENZIALI.

Equazioni differenziali lineari omogenee e non omogenee. Sistema fondamentale di soluzioni dell'equazione omogenea. Il caso delle equazioni a coefficienti costanti. Un esempio di equazioni differenziali non lineari: le equazioni a variabili separabili.

#### Testi consigliati

M. BRAMANTI - C.D. PAGANI - S. SALSA: *Matematica*, Ed. Zanichelli.

S. SALSA - A. SQUELLATI, *Esercizi di matematica*, vol. 2, Ed. Zanichelli.

#### ANALISI MATEMATICA LB

BO, cds: Q, R

Docente: **Giovanna Citti** prof. straordinario.

**Gli oggetti del calcolo infinitesimale in più variabili.** Funzioni reali di più variabili. Funzioni di variabile reale a valori vettoriali. Funzioni di più variabili a valori vettoriali: campi vettoriali, superfici in forma parametrica, trasformazioni di coordinate Limiti e continuità in più variabili: definizioni e proprietà

**Calcolo differenziale per le funzioni reali di più variabili** Topologia e funzioni continue: definizioni fondamentali, di insiemi aperti, chiusi, limitati. Proprietà topologiche delle funzioni continue: teoremi di Weierstrass e degli zeri. Derivata parziale, piano tangente, differenziale: definizioni e teorema che lega le funzioni di classe  $C^1$  a quelle differenziabili. Regole per il calcolo delle derivate: derivata della somma, del prodotto e della composizione. Derivate successive. formula di Taylor al secondo ordine. Massimi, minimi liberi e punti critici: definizioni, e teorema di Fermat. Forme quadratiche. Studio della natura dei punti critici. Metodo dei moltiplicatori di Lagrange.

**Calcolo infinitesimale per le curve** Arco di curva continua e regolare. Lunghezza di una curva. Integrale di linea di prima specie. Integrale di linea di seconda specie.

**Calcolo differenziale per funzioni di più variabili a valori vettoriali:** Matrici Jacobiane. Campi vettoriali: campi conservativi e potenziali. Campi chiusi, aperti semplicemente connessi. Condizioni affinché un campo sia conservativo. Lavoro di un campo vettoriale. Lavoro di un campo conservativo e differenza di potenziale.

**Calcolo integrale per funzioni di più variabili** Integrali doppi: definizione. Insiemi semplici e insiemi regolari. Calcolo degli integrali come integrali iterati. Trasformazioni regolari di coordinate. Cambiamento di variabile negli integrali doppi. Integrali tripli.

**Equazioni differenziali** Equazioni del primo ordine. Problema di Cauchy. Equazioni a variabili separabili. Equazioni lineari del primo ordine. Equazioni lineari del secondo ordine. Integrale generale. Equazioni omogenee, equazioni non omogenee.

#### Testo adottato:

BRAMANTI PAGANI SALSA, *Matematica, calcolo infinitesimale e algebra lineare*, Zanichelli, Bologna.

**ANALISI MATEMATICA LB****BO, cds: M, E, T**Docente: **Enrico Obrecht** prof. ord.**INTEGRALE GENERALIZZATO E SERIE.**

Definizione di integrale generalizzato e di assoluta integrabilità in senso generalizzato, criteri di confronto. Serie numeriche: definizione, assoluta convergenza, criteri del confronto, del rapporto, della radice, di Leibniz.

**LIMITI, CONTINUITÀ E CALCOLO DIFFERENZIALE PER FUNZIONI DI PIÙ VARIABILI.**

Funzioni reali e vettoriali di più variabili reali: generalità. Definizione di funzione continua e di limite. I teoremi di Weierstrass e dei valori intermedi per funzioni di più variabili. Le funzioni di classe  $C^{(1)}$  e la differenziabilità. Matrice jacobiana. Il teorema sulla differenziabilità di una funzione composta. Derivate parziali di ordine superiore. Estremanti relativi per funzioni reali di più variabili reali: definizioni, condizioni necessarie, condizioni sufficienti.

**INTEGRALE MULTIPLIO.**

Cenno alla misura di Peano – Jordan. Definizione di integrale di Riemann per funzioni limitate di più variabili. I teoremi di riduzione e di cambiamento di variabile.

**EQUAZIONI DIFFERENZIALI.**

Equazioni differenziali lineari omogenee e non omogenee. Sistema fondamentale di soluzioni dell'equazione omogenea. Il caso delle equazioni a coefficienti costanti. Un esempio di equazioni differenziali non lineari: le equazioni a variabili separabili.

*Testi consigliati*M. BRAMANTI – C.D. PAGANI – S. SALSA, *Matematica*, Zanichelli.**ANALISI MATEMATICA LB****FO, cds: cla,clm**Docente: **Davide Guidetti** prof. straord.

Lo spazio euclideo  $R^n$ ; funzioni di più variabili reali; calcolo differenziale per funzioni di più variabili reali; equazioni differenziali ordinarie; teoria della misura e dell'integrazione secondo Lebesgue; curve e integrali curvilinei; campi vettoriali e potenziali.

Testi d'esame: appunti del docente (per ciascuno dei corsi).

Modalità d'esame: questionario a risposte multiple + due domande di teoria scritte; a seguire prova orale.

**ANALISI MATEMATICA LB****CE, cds: dud**Docente: **Costante Pontini** ric.

Funzioni reali e vettoriali di più variabili reali: limiti, continuità, calcolo differenziale. Estremi relativi. Funzioni implicite. Funzioni composte. Coordinate polari nel piano e nello spazio, coordinate cilindriche.

Integrali multipli: Teoremi di riduzione e di cambiamento di variabili. Integrali multipli generalizzati.

Equazioni differenziali ordinarie e sistemi di equazioni differenziali: problema di Cauchy, in-

tegrali primi, equazioni ordinarie del primo ordine separabili, equazioni ordinarie del secondo ordine a coefficienti costanti, metodo della variazione della costante arbitraria, sistemi di equazioni (di dimensione 2 e 3) a coefficienti costanti. Stabilità secondo Lyapunov.

Campi vettoriali nel piano e nello spazio, lavoro di una forza nel piano e nello spazio.

*Testo consigliato*

GIUSTI E., *Esercizi e complementi di Analisi Matematica - Volume secondo*, Bollati Boringhieri, 1992.

### **ANALISI MATEMATICA LB**

**BO, cds: C, N**

Docente: **Pier Luigi Papini** prof. ord.

Successioni e serie di funzioni.

Funzioni di due o più variabili (differenziali, massimi e minimi).

Equazioni differenziali.

Curve, integrali curvilinei e forme differenziali.

Integrali doppi e tripli.

Superfici.

L'esame consta di una prova scritta, cui segue una breve discussione orale.

*Testo di riferimento:*

N. FUSCO, P. MARCELLINI, C. SBORDONE, *Elementi di Analisi Matematica due*, Liguori editore, Napoli 2001. Tale testo va integrato con un libro di esercizi di Analisi II, a scelta dello studente.

### **ANALISI MATEMATICA LB**

**BO, cds: L**

Docente: **Silvano Matarasso** prof. ord.

- Curve: parametrizzazioni equivalenti, vettore tangente, lunghezza, ascissa curvilinea, curvatura.
- Funzioni di più variabili: matrice jacobiana, differenziabilità, massimi e minimi locali, funzioni implicite, superfici parametriche, curve e superfici in forma implicita, varietà ed estremi condizionati.
- Serie numeriche: serie geometrica, serie armonica, assoluta convergenza, criteri di convergenza.
- Serie e successioni di funzioni: uniforme convergenza, formule di Taylor, sviluppabilità in serie di Taylor, serie di potenze.
- Integrali curvilinei: integrale curvilineo di una funzione scalare, massa e baricentro di un filo, integrale curvilineo di un campo vettoriale, lavoro, campi vettoriali conservativi, potenziale, ricerca del potenziale.
- Misura e integrazione per funzioni di più variabili: misura di Peano, misura del sottografico, integrale multiplo, riduzione degli integrali doppi e tripli, cambiamento di variabili.
- Misura e integrale di Lebesgue: il teorema di convergenza dominata.

**Bibliografia:**

- S. ABENDA-S. MATARASSO, *Analisi Matematica*, Editore Progetto Leonardo (Bologna).  
 S. ABENDA-S. MATARASSO-A. PARMEGGIANI, *Esercizi di Analisi Matematica*, (II Parte), Editore Progetto Leonardo (Bologna).

**ANALISI MATEMATICA LC****BO, cds: T, E**Docente: **Giulio Cesare Barozzi** prof. ord.**Capitolo 1 – Elementi di analisi funzionale.**

Spazi vettoriali. Spazi vettoriali normati. Spazi vettoriali con prodotto scalare. Proiezioni ortogonali.

**Capitolo 2 – Elementi di teoria dell'integrazione**

Richiami sull'integrale di Riemann. La misura di Lebesgue. L'integrale di Lebesgue. Spazi di funzioni sommabili.

**Capitolo 3 – Serie di Fourier**

Polinomi di Fourier. Serie di Fourier: convergenza puntuale. Serie di Fourier: convergenza uniforme. Serie di Fourier: convergenza in media quadratica. Serie di Fourier: ulteriori risultati.

**Capitolo 4 – Funzioni di una variabile complessa**

Il campo complesso. Funzioni di una variabile complessa. Funzioni olomorfe. Serie di potenze. Integrazione in campo complesso. Proprietà delle funzioni analitiche. Punti singolari. Serie bilatere. Il teorema dei residui.

**Capitolo 5 – La trasformata di Laplace**

Introduzione alla trasformata di Laplace. Proprietà della trasformata di Laplace. Le funzioni beta e gamma di Eulero. Inversione della trasformata di Laplace. Equazioni differenziali ordinarie.

**Capitolo 6 – La trasformata di Fourier**

Introduzione alla trasformata di Fourier. Proprietà della trasformata di Fourier. Trasformata di Fourier delle funzioni di quadrato sommabile.

**Capitolo 7 – Distribuzioni**

Il concetto di distribuzione. Operazioni sulle distribuzioni. Distribuzioni temperate. Distribuzioni periodiche.

**Testo consigliato:**

- G.C. BAROZZI: *Matematica per l'Ingegneria dell'Informazione*, Zanichelli (Bologna) 2001, ISBN 88-08-07923-6.

**ANALISI MATEMATICA LC**Docente: **Silvano Matarasso** prof. ord.

BO, cds: L, I

**Funzioni analitiche**

Forma polare dei numeri complessi, potenze e radici complesse, funzioni complesse di variabile complessa, funzioni analitiche, condizioni di Cauchy-Riemann, serie di Taylor e serie di potenze, funzioni elementari in campo complesso, punti di diramazione di funzioni polidrome, sviluppabilità in un disco, zeri e singolarità isolate, residuo in una singolarità isolata, integrale delle funzioni complesse, sviluppabilità in un anello; curve omologhe, integrale di una funzione analitica su curve omologhe. Teorema sui residui e sue applicazioni. Lemmi di Jordan.

**Trasformata di Laplace**

Trasformata unilatera, analiticità della trasformata, trasformata della derivata, metodi di antitrasformazione. Ricostruzione del segnale a partire dalla sua trasformata. Applicazione alla risoluzione di sistemi differenziali a coefficienti costanti.

**Serie di Fourier**

Spazi vettoriali euclidei di dimensione non finita; sistemi ortogonali, metodo di ortogonalizzazione di Hilbert-Schmidt, migliore approssimazione di un elemento rispetto agli elementi di un sottospazio di dimensione finita, disequaglianza di Bessel, eguaglianza di Parseval, basi ortogonali; serie di Fourier di un elemento rispetto ad una base ortogonale. Lo spazio  $L^2(-\pi, \pi)$  e la base trigonometrica: ogni elemento è somma, in media quadratica, della sua serie di Fourier. Il teorema sulla convergenza puntuale delle serie di Fourier. Proprietà delle serie di Fourier.

**Trasformata di Fourier**

Estensione a funzioni non periodiche e sommabili su  $\mathbb{R}$ , della sviluppabilità in serie di Fourier; formula integrale di Fourier. Proprietà della trasformata di Fourier; ricostruzione della funzione a partire dalla sua trasformata. Derivata delle funzioni discontinue. Distribuzioni e derivazione. Approssimazione della distribuzione  $\delta$  di Dirac, con successioni di funzioni. Distribuzioni temperate. Trasformata di Fourier delle distribuzioni temperate.

**Metodi risolutivi per l'equazione del calore unidimensionale.**

Autovalori ed autofunzioni per il problema di Sturm-Liouville. Metodo della separazione delle variabili per l'equazione del calore in una dimensione: caso della sbarra finita (equazione omogenea con condizioni agli estremi omogenee, equazione non omogenea, condizioni agli estremi dipendenti dal tempo; caso della retta (equazione omogenea, equazione non omogenea), caso della semiretta (condizione omogenea all'estremo, condizione all'estremo dipendente dal tempo).

**Bibliografia:**

S. ABENDA-S. MATARASSO-M.C. TESI, *Metodi Matematici*, Esculapio Editore - Bologna.

M. BRAMANTI, *Esercitazioni di Analisi 3*, CUSL, Milano.

M.R. SPIEGEL, *Trasformate di Laplace*, McGraw-Hill, Milano.



**ANALISI MATEMATICA LD****BO, cds: T**Docente: **Giulio Cesare Barozzi** prof. ord.**Elementi di analisi funzionale.**

Spazi vettoriali normati (s.v.n.) e proprietà di completezza. Spazi di Hilbert, sistemi ortonormali completi. Funzionali lineari continui su spazi vettoriali normati, limitatezza e continuità; norma di un funzionale e spazio duale. Il caso degli spazi di Hilbert. Operatori lineari continui tra s.v.n., limitatezza, continuità, operatori integrali. Operatori non limitati, autovalori e autofunzioni. Operatori hermitiani tra spazi di Hilbert; operatori di Sturm e operatori integrali. Proprietà degli autovalori e delle autofunzioni.

**Problemi ai limiti unidimensionali.**

Problemi di Sturm-Liouville; la funzione di Green, rappresentazione della soluzione del problema non omogeneo.

**Basi di autosoluzioni di equazioni differenziali.**

Metodi di soluzione per serie per le equazioni differenziali; equazione di Legendre, Laguerre, Hermite e relativi polinomi.

Equazione di Bessel; proprietà delle funzioni di Bessel.

**Funzioni armoniche.**

Formula di Green, proprietà di media, principio di massimo. Problema di Dirichlet nel cerchio, soluzione mediante funzione di Green. Problemi al contorno in domini particolari, utilizzazione del metodo di separazione delle variabili ed utilizzo delle serie di Fourier.

**Distribuzioni**

Il concetto di distribuzione. Operazioni sulle distribuzioni. Distribuzioni temperate. Distribuzioni periodiche.

**Testi consigliati:**

G.C. BAROZZI, *Matematica per l'Ingegneria dell'Informazione*, Zanichelli (Bologna).

V.S. VLADIMIROV, *Equations of mathematical Physics*, Marcel Dekker (New York).

**ANALISI MATEMATICA LD****BO, cds: L,I**Docente: **Silvano Matarasso** prof. ord.**Operatori lineari, autovalori, problemi al contorno**

Spazi vettoriali normati (s.v.n.) e proprietà di completezza. Spazi di Hilbert, sistemi ortonormali completi. Funzionali lineari continui su spazi v.n., limitatezza e continuità, norma di un funzionale e spazio duale, il duale di uno spazio di Hilbert. Operatori lineari continui tra s.v.n., limitatezza e continuità, norma, operatori integrali. Operatori non limitati, autovalori ed autofunzioni, operatori hermitiani tra spazi di Hilbert, il caso dell'operatore di Sturm e degli operatori integrali, caratterizzazione degli operatori hermitiani mediante la forma bilineare associata, proprietà degli autovalori ed autofunzioni; problema misto per l'equazione di Poisson: l'operatore associato è hermitiano, completezza in  $L^2$  del sistema delle autofunzioni, proprietà variazionali degli autovalori.

### Problemi ai limiti unidimensionali

Problemi di Sturm-Liouville, la funzione di Green del problema omogeneo, rappresentazione, in condizioni di unicità, della soluzione nel caso non omogeneo, proprietà degli autovalori e delle autofunzioni, mediante il teorema dell'alternativa.

### Basi di autosoluzioni di equazioni differenziali

Metodo di risoluzione per serie per le equazioni differenziali. Equazioni di Legendre, Laguerre, Hermite e relativi polinomi. Equazioni differenziali con coefficienti singolari: metodo di Frobenius ed equazione di Bessel; proprietà delle funzioni di Bessel.

### Funzioni armoniche

Formula di Green, proprietà di media, principio di massimo. Il problema della elettrostatica, formula risolutiva nel cerchio, del problema classico di Dirichlet, relativo all'equazione di Poisson, mediante la funzione di Green. Il metodo della separazione delle variabili, utilizzando lo sviluppo di Fourier del dato al bordo, per la risoluzione dei problemi al contorno per funzioni armoniche nel cerchio, semicerchio, corona; risoluzione del problema di Dirichlet, nel rettangolo e nel semipiano.

### Distribuzioni

Distribuzioni di cariche puntuali o distribuite su superfici, funzione generalizzata  $\delta$  di Dirac. Spazio delle funzioni test e convergenza, spazio duale (distribuzioni) e convergenza (debole); la distribuzione valor principale, supporto di una distribuzione. Derivazione delle distribuzioni: dipolo magnetico di momento  $q$  e doppio strato; derivata distribuzionale di una funzione di classe  $C^1$  a tratti, non necessariamente continua.

### Bibliografia

V.S. VLADIMIROV, *Equations of Mathematical Physics*, Marcel Dekker, New York.

## ANALISI MATEMATICA LS

BO, cds:L

Docente: **Silvano Matarasso** prof. ord.

### Equazioni integrali

Operatori integrali tra spazi di Hilbert, operatori compatti, operatori hermitiani e proprietà degli autovalori. Problemi differenziali ordinari ed equazioni integrali. Equazioni integrali di Fredholm, equazione aggiunta, autovalori ed autofunzioni, nuclei iterati ed operatori associati, risolvibile, equazione di Volterra. Teorema dell'alternativa: proprietà degli autovalori e delle autofunzioni. Equazioni integrali con nucleo hermitiano, proprietà degli autovalori, teorema di Hilbert-Schmidt. Rappresentazione di un nucleo hermitiano mediante le sue autofunzioni, formula per la risoluzione di una equazione integrale non omogenea, con nucleo hermitiano, nuclei hermitiani positivi ed autovalori.

### Problemi al contorno per operatori ellittici

Convulsione e distribuzioni, proprietà, regolarizzazione di distribuzioni. Il laplaciano distribuzionale e la formula di Green. La funzione di Green. Soluzioni fondamentali di operatori differenziali lineari: il caso degli operatori con derivate ordinarie e dell'operatore di Laplace. Potenziali newtoniani in  $R^3$ : potenziali di volume, di semplice e doppio strato, proprietà. Discontinui-

tà del potenziale di doppio strato e discontinuità della derivata normale del potenziale di semplice strato. Riduzione ad una equazione integrale del problema di Dirichlet e Neumann: risolubilità con dati continui, soluzioni come potenziali di doppio strato e di semplice strato.

### Bibliografia

M.L. KRASNOV, A.I. KISELEV, G.I. MAKARENKO, *Equazioni integrali*, Edizioni Mir, Mosca.

V. VLADIMIROV, *Distributions en Physique Mathématique*, Mir, Moscou.

V. VLADIMIROV, *Equations of Mathematical Physics*, Marcel Dekker, New York.

## ANALISI NUMERICA

BO, cds: T, L

Docente: **Fiorella Sgallari** prof. straord.

**Scopo del corso:** Il corso si propone di fornire le nozioni e gli strumenti di calcolo necessari per la soluzione di problemi classici dell'ingegneria e della matematica applicata e nello svolgimento di tesi in varie discipline dell'Ingegneria. Il corso prevede un'attività di laboratorio che ne costituisce parte integrante in cui si utilizzerà il software MATLAB e pacchetti software avanzati.

### Programma

#### - Sistemi di equazioni lineari

Metodi diretti: fattorizzazione LU e QR di una matrice. Algoritmi di base (Gauss, Crout, Cholesky, Householder, Gram-Schmidt). Metodi iterativi. Algoritmi di base (Jacobi, Gauss-Seidel, SOR). Metodi per sistemi di grandi dimensioni: metodi del gradiente coniugato, metodi di Krylov. Precondizionamento. Sistemi mal condizionati. Problema lineare dei minimi quadrati.

#### - Autovalori ed autovettori

Localizzazione degli autovalori. Metodo delle potenze e potenze inverse. Metodi per similitudine: Jacobi, Givens, Householder. Metodo QR e varianti.

#### - Equazioni e sistemi non lineari

Generalità. Metodi per equazioni non lineari: metodo delle tangenti o di Newton e sue varianti, metodo delle corde, delle secanti e di bisezione. Metodi per sistemi non lineari: metodo di Newton-Raphson. Metodi per sistemi non lineari di grandi dimensioni: metodi di Newton inesatti.

#### - Interpolazione ed approssimazione

Interpolazione polinomiale, formula di Lagrange e di Newton, differenze divise. Differenze finite. Interpolazione con funzioni polinomiali a tratti: funzioni splines. Approssimazione ai minimi quadrati. Approssimazione con funzioni trigonometriche. Trasformata rapida di Fourier (FFT unidimensionale e multidimensionale).

#### - Derivazione ed integrazione

Generalità. Formule di quadratura interpolatorie. Formule di Newton-Cotes. Formule newtoniane composite. Formule Gaussiane. Formule di derivazione numerica.

#### - Equazioni differenziali ordinarie

Problemi di valori iniziali. Metodi ad un passo e a più passi. Metodi di Runge-Kutta. Metodi di tipo Adams. Problemi stiff. Problemi con condizioni ai limiti. Metodi di shooting. Metodi alle differenze. Metodi variazionali. Analisi dell'errore. Stabilità.

### – Equazioni a derivate parziali

Alcune idee di base: approssimazione numerica, alcuni tipi importanti di equazioni alle derivate parziali. Problemi ellittici. Problemi parabolici. Problemi iperbolici. Metodi alle differenze finite. Convergenza e stabilità. Principi variazionali. Nozione di soluzione debole. Metodi agli elementi finiti.

### Valutazione:

L'esame consiste in una prova orale o nella realizzazione e discussione di un progetto di laboratorio.

### Materiale didattico

Introduzione a MATLAB e richiami sulle matrici (disponibile nella pagina web docente).

Lucidi del corso, esercizi di laboratorio con soluzioni a richiesta. Verranno, inoltre, consigliati testi e fornito software che permettano l'approfondimento soprattutto di argomenti indispensabili per l'indirizzo scelto e/o utili allo svolgimento della tesi. Per questo scopo verranno organizzati, quando necessario, seminari specifici per l'apprendimento di nuove metodologie.

### ANALISI NUMERICA BS B

CE, cds: clb

Docente: **Fabiana Zama**, ric.

### Argomenti:

- Derivazione e Integrazione Numerica.
  - Equazioni Differenziali Ordinarie.
  - Equazioni a derivate parziali: analisi della soluzione numerica di alcuni problemi di rilievo applicativo mediante metodi alle differenze finite ed elementi finiti.
- Discussione degli aspetti algoritmici ed implementativi mediante esempi in linguaggio MATLAB e FEMLAB.

### Bibliografia

V. COMINCIOLI, *Analisi numerica*, McGraw-Hill, 1990.

A. QUARTERONI, *Modellistica Numerica per Problemi Differenziali*, Springer 2000.

### ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI

BO, cds: M, L

Docente: **Alessandro Freddi** prof. ord.

L'Insegnamento si propone di fornire strumenti di tipo sperimentale per la progettazione meccanica di componenti e di sistemi. A questo fine il Corso è articolato nel modo seguente:

- Richiami di meccanica dei materiali:
  - Effetto della distribuzione delle tensioni e delle deformazioni sul comportamento degli organi
  - Effetto delle tensioni variabili ciclicamente e misura dei parametri di fatica
  - Effetto della presenza di difetti negli organi
  - Principali tecniche sperimentali di analisi delle tensioni:
- a) metodi di ottica coerente,

b) estensimetria,

c) lacche fragili.

- La misura delle tensioni residue.

- Contributo della Analisi sperimentale delle tensioni alla qualità di sistemi:

- La progettazione dell'esperimento.

- Le prove accelerate.

- Richiami di analisi dimensionale.

- Cenni sui controlli non distruttivi.

Per seguire l'Insegnamento sono necessarie conoscenze di Scienza delle costruzioni, Costruzione di macchine e Misure meccaniche.

#### *Testi consigliati:*

Dispense dell'insegnamento.

ROSS P.J., *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, Mc-Graw-Hill, New York, 1988.

BARKER T.B., *Quality by Experimental Design*, Marcel Dekker, N.Y., 1985.

## **ANALISI STRUMENTALE E CONTROLLO DEI MATERIALI**

**BO, cds: R**

Docente: **Giorgio Timellini** prof. straordinario.

### *Finalità del Corso*

Il Corso si propone di impartire le conoscenze fondamentali nel campo dei controlli dei materiali, sensibilizzando gli allievi sugli obiettivi dei controlli, nel quadro più generale della gestione della qualità aziendale e della qualità dell'ambiente, nonché sulle principali problematiche inerenti alle strumentazioni, ai criteri di campionamento, all'elaborazione dei dati.

### *Programma*

#### **Elementi di metrologia e analisi strumentale**

- Introduzione alle misure.

- Le unità di misura.

- Aspetti generali delle misure di grandezze e sugli strumenti di misura.

- Gli errori di misura. Cenni sulla teoria degli errori

- La riferibilità delle misure. La taratura: procedure e metodi.

#### **Norme e leggi sul controllo dei materiali**

- gli obiettivi del controllo dei materiali, nel quadro di:

- gestione e certificazione della qualità aziendale (prodotto, sistema, ambiente)

- valutazioni di impatto ambientale

- aspetti generali su enti di normazione, struttura ed organizzazione delle norme sui materiali e sui sistemi di gestione della qualità, applicazione delle norme;

- analisi esemplificativa, sotto il profilo normativo, di alcune categorie di materiali per l'ingegneria e di effluenti inquinanti.

#### **Il controllo dei materiali**

- analisi critica, dal punto di vista metrologico, di metodi di controllo e misura delle caratteristiche dei materiali. Esempi: analisi granulometrica, misure di viscosità, analisi porosimetrica, misura delle caratteristiche meccaniche dei materiali ceramici e metallici, misura delle caratteristiche di resistenza chimica, caratterizzazione di effluenti gassosi.

**Testi consigliati:**

D.A. SKOOG, J.J. LEARY - *Chimica analitica strumentale* - EdiSES, Napoli (1995) (per consultazione).

Documentazione distribuita dal docente.

**ANTENNE LA**

Docente: **Diego Masotti ric.**

**BO, cds: T**

**Finalità dell'insegnamento:**

Il corso si propone di fornire una conoscenza delle grandezze caratteristiche che descrivono il funzionamento delle antenne, una panoramica sulle principali antenne utilizzate nelle radiocomunicazioni ed una descrizione dei più comuni fenomeni che influenzano la propagazione delle onde elettromagnetiche e quindi le prestazioni dei sistemi di comunicazione.

**Programma dell'Insegnamento:**

*Elementi di base di campi elettromagnetici:* Equazioni di Maxwell ed equazioni di continuità; Risoluzione delle equazioni di Maxwell in presenza di sorgenti; Sorgenti elementari; Sorgenti estese. Grandezze caratteristiche della radiazione; Grandezze caratteristiche della ricezione. Scattering da corpi omogenei. RADAR

*Antenne a filo:* Dipolo elementare; Dipolo corto; Dipolo di lunghezza finita; Monopolo; Antenne a spira: spira puntiforme e spira ad onda intera; Antenne Long-wire: orizzontali e a V

*Antenne composite:* Antenne a schiera: Broadside, End-fire, a scansione elettronica. Sintesi di schiere d'antenna: Metodo della serie di Fourier. Accoppiamento: Schiera Yagi-Uda. Schiere Log-periodiche. Antenne a schiera planari e circolari (cenni)

*Antenne ad apertura:* Antenne ad apertura ideali: caso di apertura circolare. Guide tronche; Antenne a tromba: tromba H, tromba E, tromba piramidale. Riflettori parabolici simmetrici: cross-polarizzazione. Riflettori parabolici asimmetrici; Antenne a doppio riflettore parabolico (cenni). Antenne a fenditura. Antenne in microstriscia: modalità di funzionamento.

*Radio-propagazione:* Antenna posizionata su suolo piatto; Antenna posizionata su suolo sferico (cenni). Effetti della diffrazione dovuti alla presenza di ostacoli. Propagazione delle onde superficiali. Propagazione ionosferica. Propagazione alle microonde e onde millimetriche: attenuazione dovuta alla pioggia ed ai gas atmosferici.

**Esame:** Scritto e orale

**Bibliografia:**

V. RIZZOLI, *Lezioni di Campi elettromagnetici: propagazione libera ed antenne*, Esculapio, Progetto Leonardo.

C.A. BALANIS, *Antenna Theory Analysis and Design*, Wiley.

R.E. COLLIN, *Antennas and Radiowave propagation*, McGraw-Hill.

**ARCHITETTURE DEI SISTEMI INTEGRATI**

BO, cds: T, L, I

Docente: **Roberto Guerrieri** prof. straord.

L'Insegnamento si propone di investigare le architetture dei calcolatori integrati, al fine di dare gli strumenti concettuali per comprendere le scelte architetturelle che hanno portato ai sistemi di calcolo odierni e per guidare in scelte progettuali autonome a livello architetturelle.

*Programma***1. Progetto gerarchico di sistemi integrati**

Struttura del costo economico di un sistema basato su circuiti integrati. Approccio gerarchico al progetto di un sistema elettronico.

- Partizione del progetto tra hardware e software. Problemi di progetto integrato della parte hardware e quella software.
- Linguaggi concorrenti per la specifica e la sintesi di sistemi integrati: il VHDL.
- Analisi di alcune scelte realizzative di sistemi integrati:
- Descrizione dei gate array programmabili (FPGA) e delle relative tecniche di programmazione.
- Progetto di gate-array e sea-of-gates.

**2. Elementi di elettronica di sistema**

Packaging di circuiti integrati: dissipazione termica, effetto delle connessioni tra circuito integrato e scheda.

Distribuzione dell'alimentazione su chip e scheda.

Progetto di schede: effetti induttivi e capacitivi delle linee di interconnessione sulla propagazione del segnale; effetti delle discontinuità elettriche.

Connessione di schede tramite bus: il bus VME.

La verifica di funzionalità dei sistemi integrati: descrizione dello standard IEEE 1149.

**3. Esame di uno specifico sottosistema elettronico**

Verrà esaminato il sottosistema di memoria di una stazione di lavoro avanzata con enfasi sulla interazione tra le specifiche elettriche di sistema e le esigenze architetturelle.

Esame del sistema di memoria in alcuni processori recentemente presentati in letteratura.

*Testi consigliati:*

J. HENNESSY, D. PATTERSON, *Computer Architecture: A Quantitative Approach*, Morgan Kaufmann Publishers, 1990.

N. WESTE, K. ESHRAGHIAN, *Principles of CMOS VLSI Design: A System Perspective*, Addison-Wesley, 1992.

H.B. BAKOGLU, *Circuits, Interconnections, and Packaging for VLSI*, Addison-Wesley, 1990.

Materiale distribuito dal docente.

L'Insegnamento prevede un ciclo di *esercitazioni* di laboratorio in un'aula appositamente attrezzata con un congruo numero di stazioni di lavoro SUN. Sarà inoltre reso disponibile software avanzato per la specifica e la sintesi di sistemi integrati. Gli studenti avranno l'opportunità di sviluppare un progetto consistente in un sistema integrato le cui specifiche verranno definite di anno in anno. Sarà anche possibile svolgere progetti coordinati da parte di gruppi di studenti. L'eventuale collaudo del sistema realizzato potrà essere svolta durante la preparazione della tesi di laurea.

*Esame:* scritto e orale.

**ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA I**

BO, cds: D

Docente: Luisella Gelsomino prof. ass.

*Il corso è finalizzato a far acquisire agli allievi gli elementi essenziali della progettazione architettonica, sia attraverso l'analisi critica dei principi teorici della qualità architettonica e urbana, sia fornendo alcuni aspetti conoscitivi essenziali di introduzione al progetto. Viene inoltre fornita l'occasione, attraverso l'illustrazione di casi di studio, visite ad interventi realizzati, applicazione pratica, nelle esercitazioni e nel laboratorio connesso al corso, delle tematiche sviluppate dalle lezioni, di avviare l'allenamento al fare progettuale secondo un taglio professionale coerente con le competenze richieste oggi ad un progettista dell'architettura. Per questo primo approccio progettuale si propone allo studente di affrontare i temi dell'edilizia residenziale.*

**Argomenti delle lezioni****1. PRINCIPI E CRITERI DI PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA**

- 1.1. Il progetto come trasformazione.
- 1.2. Il concetto di spazio architettonico. Percezione e fruizione.
- 1.3. Architettura e contesto urbano. Lettura progettuale dell'ambiente costruito. Le linee di struttura. Le preesistenze come risorse.
- 1.4. Figuratività dell'ambiente urbano e dell'architettura.
- 1.3. I principi di qualità in edilizia: qualità del progetto e qualità del costruito.

**2. LE SCALE DI INTERVENTO**

- 2.1. Definizione delle fasi del progetto.
- 2.2. Problemi e scelte progettuali in ordine alla scala di intervento:
  - a. Unità insediativa
  - b. Organismo edilizio
  - c. Cellula elementare.
- 2.3. Qualità del progetto: metodi e fattori. Tecniche di controllo e autovalutazione
- 2.4. Le variabili della progettazione architettonica.

**3. LA TIPOLOGIA COME METODO DI PREFIGURAZIONE PROGETTUALE**

- 3.1. I criteri di riduzione tipologica.
- 3.2. Rapporti fra tipo edilizio e morfologia urbana.
- 3.3. Il modello tipologico.
- 3.4. Le logiche aggregative.

**4. METODI, STRUMENTI E REGOLE DELLA PROGETTAZIONE**

- 4.1. Definizione di attività, comportamenti, requisiti e prestazioni. Le esigenze dei fruitori: tecniche di comunicazione e di rappresentazione.
- 4.2. Requisiti dell'edilizia residenziale in relazione ad utenze specifiche: anziani, studenti, giovani coppie, disabili, bambini.
- 4.3. Tecniche di organizzazione delle informazioni al progetto.
- 4.4. Tecniche e procedimenti per il progetto di nuova edilizia e del recupero delle preesistenze.
- 4.5. Norme e regolamenti.
- 4.6. Principi di dimensionamento e di modulazione, maglie e reticoli.

**5. "INGREDIENTI DELLO SPAZIO ARCHITETTONICO": POETICA E TECNOLOGIA**

- 5.1. La forma dello spazio. Composizione di pieni e vuoti.
- 5.2. Percorrenza e percezione. Cenni sulla psicologia della forma.
- 5.3. Tecniche costruttive e concezione dello spazio architettonico.



- 5.4. Criteri per la scelta dei materiali costruttivi.  
 5.5. La luce nella costruzione dello spazio architettonico.  
 5.6. Il colore. Principi di utilizzo delle qualità cromatiche dei materiali e delle tinte.

#### *Esercitazioni*

Con elaborati di gruppo e individuali verrà sviluppato un progetto di edilizia residenziale.

## **ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA II**

**BO, cds: D, C**

Docente: **Franco Zerbini** ric.

#### *Tema*

Progetto di architettura per la città storica.

#### *Contenuto*

L'insegnamento si propone come obiettivo un progetto di architettura. Tale progetto, coincidendo con la fase finale del corso di laurea, si pone come uno dei momenti conclusivi del percorso universitario.

L'insegnamento riporta il progetto allo studio della città e del territorio considerando tale studio non come astratta applicazione disciplinare ma come fondamento degli studi di progettazione.

L'insegnamento rifiuta ogni angusta delimitazione, teorica e tecnica, al progetto anche se indica nella tecnica del disegno la via più diretta alla sua definizione.

Tenendo conto che oggi l'Università, per le sue note caratteristiche, deve preparare una tecnica capace di rispondere alle numerose questioni poste nel nostro paese, e particolarmente alla committenza pubblica, il progetto si propone, con obiettivi precisi e delimitati, come un prodotto comprensibile, partecipe alla realtà con cui si confronta.

Per meglio collocarlo in questa realtà l'insegnamento indica come campo di applicazione il territorio emiliano, come sede naturale dell'università e di molti studenti, ed in particolare l'area del centro storico, a cui verrà dedicata particolare attenzione.

La scelta preferenziale è legata alla residenza e all'edificio pubblico nell'area più vasta accettata anche se non si escludono altri temi, purché non presentino caratteristiche di eccessiva specializzazione.

L'insegnamento cercherà di giungere rapidamente all'impostazione dei singoli progetti poiché si ritiene utile, ai fini della formazione dell'ingegnere, che ognuno si impegni direttamente e possa riportare la propria esperienza ad un lavoro che sta elaborando.

La problematica dell'insegnamento si accentuerà in modo particolare sullo studio della città antica e cercherà di formulare una corretta impostazione per la progettazione di un edificio all'interno di una struttura urbana consolidata quale quella del centro storico della città.

Verranno effettuate durante l'insegnamento numerose esercitazioni per portare gli studenti ad una maggiore sintesi e capacità di comprendere i problemi tipologici e strutturali dell'architettura.

Le esercitazioni si svolgeranno attraverso extempore che gli studenti dovranno svolgere per affinare la loro capacità di rappresentazione e lettura del progetto architettonico.

L'insegnamento si svolgerà con serie di lezioni tenute non solo dal titolare della cattedra ma dal corpo docente e da una serie di comunicazioni di personalità del mondo dell'architettura non solo italiana ma anche internazionale. Questo ciclo di comunicazioni e lezioni "esterne" daranno un'importante contributo al perseguimento dell'obiettivo principale dell'insegnamento che consisterà nel dare agli studenti la capacità critica di leggere il progetto di architettura. Per questa ra-

gione le personalità invitate saranno portatrici di diverse tendenze del mondo dell'architettura. Periodicamente si svolgeranno delle attività seminariali dove si valuteranno e si discuteranno collettivamente i diversi contributi. Momento fondamentale per l'acquisizione e la conoscenza dei problemi dell'architettura sarà la possibilità di organizzare alla fine dell'insegnamento dei viaggi di studio nelle capitali europee dove poter analizzare le esperienze realizzate dai grandi architetti protagonisti della storia dell'architettura, nella costruzione della città.

### *Organizzazione*

Per coloro che intendono sostenere l'esame di "Architettura e Composizione Architettonica", l'insegnamento prevede, in tempi alternati rispetto alle lezioni ed alle comunicazioni, un'analisi e discussione dei progetti elaborati dallo studente durante l'insegnamento delle esercitazioni previste, le quali sono da ritenere gli "elementi fondativi" della sua formazione indipendentemente dal giudizio di valore e come elementi concreti di discussione.

L'insegnamento verterà sulla discussione e sulla critica dei progetti ritenuti interessanti, di libri e prodotti della vita culturale che possano chiarire gli aspetti più specifici della progettazione.

Lo studente dovrà impostare e svolgere un progetto di un edificio con il quale sostenere un esame.

L'insegnamento dovrà produrre il materiale di base per la scelta e la discussione dei temi di progettazione delle aree prescelte.

### *Testi consigliati:*

A. ROSSI, *L'architettura delle città*, Club Milano.

A. LOOS, *Parole nel vuoto*, Adelphi Milano.

L. QUARONI, *Progettare un edificio*, Gangemi Milano.

Altri testi verranno consigliati durante l'insegnamento.

*La verifica del grado di conoscenza dei testi consigliati verrà valutata con test periodici di ammissione alle fasi successive delle esercitazioni. Le lezioni e le esercitazioni richiederanno la presenza obbligatoria, condizione necessaria per l'ammissione all'esame finale.*

*Esame:* scritto e orale.

## **ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA III**

**BO, cds: D**

Docente: **Giorgio Praderio** prof. ass.

I corsi di **ACAII** (v.o.) e di **AR.CA III** (n.o.), in questo anno accademico di transizione, sono equivalenti e quindi, tra vecchio e nuovo ordinamento, orari e aule sono gli stessi del passato, nonché identico è il coordinamento con il Laboratorio di Progettazione (LAB.PRO), ora sdoppiato: arch. Claudio Zanirato (primo laboratorio a-k) e ing. PierLuigi Angiolini (tutor; secondo laboratorio l-z).

Il corso **ACAII - AR.CA III**, di *completamento alla formazione del progettista*, è estensivo e comprende *lezioni* di carattere seminariale (60 ore), *esercitazioni* sul tema annuale di progetto (60 ore) e *laboratorio di progettazione* di integrazione e supporto (60 ore). I tre momenti didattici sono tra loro coordinati culturalmente e integrati dai comuni temi di progetto. Il corso ha altresì lo scopo di sviluppare e completare al V anno l'apprendimento dello studente al *progetto architettonico per i luoghi urbani e lo spazio abitato dall'uomo, con particolare riferimento alla pratica professionale*.

Il programma richiama pertanto i fondamenti disciplinari della *progettazione architettonica* che dagli assunti teorici (ripresi rispetto ai preliminari posti dai corsi precedenti) sfociano ai possibili approcci risolutivi dei problemi abitativi e urbani, in un quadro di respiro regionale ed europeo.

Si riprendono le radici storiche dei luoghi, si indagano opere contestualizzate, ci si apre al futuro (innovazioni); si considera infine la complessità operativa e organizzativa del moderno processo decisionale e ci si avvale di *linguaggi espressivi* adottabili, purché non slegati dalle ragioni di fondo che motivano e giustificano le scelte.

Nelle *esercitazioni del corso* il progetto architettonico va redatto avendo come riferimento il *Progetto Definitivo (l. 109/99)*, per l'ottenimento della concessione edilizia attraverso interventi urbani diretti, o indiretti se attuati con piani particolareggiati o programmi di recupero urbano.

Nel *laboratorio di progettazione* si predisporranno i supporti necessari all'esperienza di progetto e la manualità necessaria (seminari conoscitivi, plastici di lavoro, sopralluoghi e visite di studio sul campo, schizzi ideativi, schede informative, opzioni progettuali, simulazioni ambientali, accertamenti tematici, approfondimenti degli interni, dettagli).

Saranno fornite le ragioni formali e tecniche desunte dai principi generali della disciplina, (teoria dell'architettura e teoria della progettazione), sviluppate ed esemplificate attraverso esperienze applicative, culturalmente motivate e suffragate dai maggiori progettisti dell'architettura.

Il programma approfondisce criticamente e sinteticamente i *metodi e le regole* del progetto in grado di abbracciare l'inesauribilità delle situazioni, che deve generare una *molteplicità dell'architettura contemporanea*; con la ricerca di soluzioni morfologiche adatte a consentire allo studente di definire un proprio *personale percorso formativo ed espressivo*. Presenta inoltre le odierne procedure decisionali e autorizzative che condizionano il progetto; esplicita il rapporto dialettico tra opere e contesto, con la loro interazione; poiché l'azione del progettista ingegnere/architetto deve agire costantemente tra aspirazioni umanistiche e artistiche e necessità funzionali e prestazionali.

Alla base del corso vi è l'assunzione che l'architettura non si esaurisce nel sistema costruttivo, con la qualità edilizia da garantire (*sistema edilizio*), perché essa deve elevarsi alla sfera delle motivazioni più ampie, alle regole - nel senso più esteso del termine - da conferire agli spazi per l'uomo, con le simbologie occorrenti e le varie risonanze culturali (*sistema architettonico*), sino alle nuove dimensioni informative e organizzative.

Il corso, nel rimandare costantemente al quadro europeo, considera il dibattito sui centri storici (il rispetto della memoria e l'intreccio tra nuova edificazione e recupero con riuso delle preesistenze, per la riqualificazione delle zone periurbane e delle trame di percorsi di vita e di luoghi intrecciati nelle città, di cui occorre indagare sembianze e spazi vitali; fornisce chiavi di lettura della città per parchi e polarità, per porti urbani e attrezzature metropolitane; infine coltiva gli interessi per le innovazioni tecnologiche, i servizi al progetto, i nuovi materiali e le frontiere spaziali della virtualità e interattività.

L'*esame di ACAII e AR.CA III* si svolge dopo che lo studente avrà sostenuto i corsi progettuali propedeutici, presentando i propri elaborati individuali del progetto architettonico assegnato dal docente (su supporto cartaceo in formato A4 o A3 o su dischetto informatico); esibendo gli esiti delle previste prove scritte estemporanee e infine sostenendo la prova scritta e la successiva prova orale d'esame.

Il *tema del progetto architettonico* viene assegnato all'inizio dell'anno accademico; esso va possibilmente concluso entro lo stesso anno; in caso contrario potrà verificarsi il mutamento del tema al subentrare del successivo anno accademico.

L'*accesso alle tesi di laurea* in ACAII - AR.CA III dovrà essere discusso con il docente, per la determinazione dei casi, modalità e argomenti. È preferibile che alla tesi di laurea si acceda dopo aver frequentato i laboratori e sostenuto l'esame (ma il tema di tesi potrà essere lo sviluppo

completo del tema annuale). Saranno favorite le tesi di laurea effettuate come tirocinio professionale presso studi, uffici, aziende e società.

#### *Bibliografia e referenze utili:*

*Giornale di bordo*, Renzo Piano; UTET, Roma 1997.

NORMAN FOSTER: *Architettura globale*; Martin Pawley; Rizzoli, Milano 1999.

*Manuale di progettazione edilizia*; Hoepli, Milano 1994.

Riviste di settore e numeri monografici di riviste.

Regolamento edilizio del Comune ove si redige il tema di progetto

Saloni dell'edilizia (SAIE, CerSaie,...); Biennale di architettura in Venezia; Triennale di architettura in Milano; Mostre di architettura in genere.

## **ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA IV**

**BO, cds: D**

**Docente: Gabriele Giacobazzi ric.**

Il Corso di Architettura e Composizione Architettonica IV° si pone come completamento ed integrazione del ciclo degli insegnamenti dell'Area Compositiva che hanno un ruolo importante nel nuovo corso di studi in Ingegneria Edile / Architettura.

Il Corso, utilizzando le conoscenze che lo studente avviandosi alla conclusione del suo iter formativo, ha accumulato nelle diverse aree disciplinari, affronta il tema del progetto edile come prodotto complesso di un processo molto articolato nel quale gli elementi della creatività individuale devono costantemente misurarsi con un multiforme sistema di esigenze interne ed esterne al processo stesso.

La convinzione di base è che si dà propriamente il progetto se l'insieme delle scelte che lo compongono che certamente radicano nel terreno delle pulsioni più profonde, può però anche essere oggetto di comunicazione e concretamente realizzato.

Se il primo elemento costitutivo del progetto è quindi derivato dalla capacità di immaginare "la realtà che non è ancora" (un edificio come un paesaggio), la possibilità/capacità di comunicarlo ne definisce la dimensione sociale.

Comunicare il progetto significa poterlo spiegare (al committente, al costruttore, agli utenti, .....); spiegarlo si può a condizione di possederne la coerenza interna, che non deriva solo dal rispetto dei contesti normativi ma, anche, nel progetto di architettura, dalla corretta navigazione tra le antinomie che inevitabilmente si presentano di fronte al progettista; riconoscibilità - omologazione; innovazione - conservazione; identità - contesto, ecc...

Il secondo carattere del progetto (la sua realizzabilità) spinge l'attenzione verso gli aspetti che la norma definisce esecutivi e sulla sua "organizzazione" tendenzialmente più complessa in funzione della maggior complessità delle esigenze da soddisfare e del maggior numero delle competenze disciplinari che concorrono a formallo.

Il Corso di Architettura e Composizione Architettonica IV affronterà nelle lezioni frontali questi aspetti teorici anche mediante costanti riferimenti a casi ed esempi concreti di progetti realizzati.

Le esercitazioni saranno organizzate attorno ad alcuni capisaldi:

**INDAGINE** verrà svolta percorrendo nuove strade e muovendosi liberamente all'interno dell'universo "contaminato" del quotidiano, in modo da portare ogni studente all'elaborazione di

chiavi di lettura soggettive, miranti ad individuare metodi espressivi innovativi, sia per la lettura sia per la rappresentazione del tema oggetto di studio.

**ARTE** Arte come matericità dello spirito, come necessità di sentire, come possibilità. Arte come mestiere. Arte come progetto e cantiere. Arte come Architettura della realtà. (Alcune esperienze saranno condotte in collaborazione con il Laboratorio Didattico della Galleria d'Arte Moderna di Bologna).

**STUDI** non c'è progetto senza idea. Il mondo si esprime tramite relazioni complesse; la conoscenza di tali relazioni, mutuata dall'analisi, si verte in consapevolezza tramite un processo sintetico: l'ideazione.

Durante la prima fase, saranno sviluppati progetti (gli STUDI) con scadenza quindicinale, nei quali di pratterà la "prassi sintetica" che porta alla risoluzione della complessità delle cose tramite l'ideazione. Parte integrante della buona riuscita degli STUDI sarà la fase di esposizione, nella quale, ogni studente dovrà divulgare (in un tempo massimo di 300 secondi ed attraverso le tecniche che riterrà più idonee) la propria idea progettuale alla platea.

**INDUSTRIA** è sollecitata l'applicazione di un processo progettuale che sia di reciproca osmosi tra il mondo dell'industria (che fornisce un prodotto elaborato, frutto di procedure e know-how avanzati) ed il mondo dell'Architettura, che consenta di ottenere soluzioni elaborate senza assolutamente negare le possibilità espressive. L'Architettura oggi è un "gioco compositivo": è l'assemblaggio di semi-lavorati e sub-componenti di produzione industriale (generalmente a catalogo e certificati) dei quali, di volta in volta sono ridefinite le relazioni.

**ESAME** tutte le riflessioni che nasceranno durante le varie fasi di ricerca, di incontro e di workshop, verranno immediatamente "trasferite" e "trasformate" in un progetto di concorso. Tempi, ritmi e riti di un aspetto della professione che ne esalta, nel bene e nel male, la speciale magia.

## **ARCHITETTURA TECNICA**

**CE, cds: dud**

Docente: **Vittorio Degli Esposti** prof. inc.

### *Finalità del corso*

Il corso si propone di illustrare le correlazioni tra tecnologie costruttive e caratteri ambientali, nel quadro dei rapporti fra componente tecnica nell'architettura e tipologia edilizia, e fra caratterizzazione fisica del luogo e congruità tipologica del progetto.

### *Programma*

Criteri di applicazione di un metodo di conoscenza dell'identità del luogo costruito o in trasformazione, basato sullo studio della tipologia edilizia e architettonica secondo un'articolazione per scale di riferimento, e verifica dei metodi di lettura degli organismi edilizi.

Riscontro delle tecniche costruttive nella tradizione e della loro evoluzione nel contesto territoriale di riferimento, in relazione alle tipologie individuate.

Verifica dei criteri di adeguamento e compatibilità ambientale delle tecniche costruttive nell'intervento edilizio diretto, e linee di indirizzo progettuale nella riqualificazione ambientale

di contesti territoriali omogenei per caratteri dell'insediamento.

Illustrazione delle dinamiche evolutive del sistema normativo alla scala edilizio-architettonica (Piani di Recupero Integrati, Programmi di Riqualificazione urbana, Programmi di intervento, ecc.) e recenti esperienze innovative nel settore.

## ARCHITETTURA TECNICA I

BO, cds: D

Docente: **Anna Barozzi** prof. ass.

### *Finalità*

L'Insegnamento mira a fornire i mezzi culturali e gli strumenti operativi di base per comprendere e affrontare i problemi di progettazione e di realizzazione di organismi edilizi.

Comprende lezioni ed esercitazioni.

Le lezioni riguardano in particolare l'illustrazione dei caratteri tecnologici dell'organismo architettonico e degli aspetti fondamentali della progettazione, con particolare riferimento al ruolo dei materiali e delle tecniche costruttive nella realizzazione della qualità architettonica e nella configurazione dell'ambiente edificato.

Le esercitazioni pratiche riguardano l'elaborazione di un progetto di edilizia residenziale.

### *Programma delle lezioni*

- Il "campo" dell'architettura. L'organismo architettonico: definizioni e principi di base, riferimenti storici.

- I caratteri morfologico-strutturali degli edifici: analisi delle caratteristiche e delle vocazioni strutturali dei materiali da costruzione; analisi dei principali modi di organizzazione dei sistemi portanti; analisi dei rapporti tra i sistemi portanti e le configurazioni spaziali e morfologiche.

- Il sistema edilizio. I contenuti della normativa tecnica finalizzata al controllo della qualità edilizia. L'apparecchiatura costruttiva come sistema: elementi di fabbrica, elementi costruttivi funzionali, materiali di base e loro classificazioni. I procedimenti costruttivi: artigianato, industrializzazione e prefabbricazione.

- Gli edifici a muratura portante: i caratteri tipo-morfologici della tradizione costruttiva; criteri di organizzazione strutturale; tipi di murature. Le murature di laterizio: caratteristiche prestazionali, criteri progettuali e costruttivi; normative di riferimento. Soluzioni tecniche per la realizzazione di aperture, sporti, finiture superficiali, rivestimenti e per la difesa dall'umidità e la coibentazione termo-acustica nelle murature. Le murature portanti in getto di c.c.a.: caratteristiche prestazionali, criteri progettuali, tecniche di messa in opera e di finitura superficiale.

- Gli edifici ad ossatura portante: i caratteri tipo-morfologici della tradizione costruttiva; criteri di organizzazione strutturale di edifici ad ossatura portante in c.c.a. e acciaio; normative di riferimento. Rapporti fra ossatura e tamponamenti: esempi di soluzioni tecniche.

- Gli edifici a struttura portante prefabbricata in c.c.a.: caratteristiche prestazionali e criteri progettuali. Analisi di sistemi prefabbricati.

- Cenni sulle costruzioni a involucro globale.

- I sistemi di collegamento verticale: requisiti funzionali e criteri di progettazione di rampe e scale; normativa di riferimento. Cenni su i principali tipi di ascensori e montacarichi.

- I sistemi di orizzontamento.

Le volte in muratura: la tradizione costruttiva delle volte; geometria delle volte semplici e composte; tecniche di realizzazione.

Le volte leggere: tipi di volte a guscio e corrugate in c.c.a., ad ossatura in acciaio e legno lamellare.

I solai: requisiti funzionali e criteri di progettazione; normativa di riferimento. Tipi di solaio in legno, c.c.a., acciaio e misti. Solai latero-cementizi: soluzioni tecniche e modalità d'impiego.

- I sistemi di copertura: requisiti funzionali e criteri di progettazione. La tradizione costruttiva dei tetti.

I tetti a falde: tipi e tecniche realizzative di elementi portanti, di chiusura e completamento.

I tetti piani: tipi e tecniche realizzative di elementi portanti e di completamento. I sistemi di impermeabilizzazione delle coperture.

- Il progetto di architettura.

- Gli obiettivi e i metodi della progettazione; gli aspetti operativi del progetto: cenni sulla normativa procedurale riferita ai lavori pubblici.

- I livelli di definizione del progetto in rapporto alle fasi del processo di progettazione; cenni sulle procedure di controllo di qualità del progetto.

- I contenuti specifici del progetto preliminare e del progetto definitivo a livello spaziale, morfologico e tecnologico. Le normative di riferimento. I modi e le scale di rappresentazione.

- Cenni sui metodi e le tecniche di progettazione assistita.

**Modalità d'esame:** l'esame consiste nell'illustrazione del progetto elaborato dal gruppo di studenti e nella discussione di argomenti attinenti alle scelte progettuali attuate e nella verifica individuale della conoscenza degli argomenti trattati nell'Insegnamento.

#### **Bibliografia e testi di riferimento:**

L. CALECA, *Corso di Architettura Tecnica*, Flaccovio.

E. ALLEN, *I fondamenti del costruire*, McGraw-Hill.

È inoltre consigliata la consultazione di:

E. MANDOLESI, *Edilizia*, UTET.

N. TUBI, *La realizzazione di murature in laterizio*, Laterconsult.

C. LATINA, *Muratura portante in laterizio*, Laterconsult.

V. BACCO, L. CIANCABILLA, *Il manuale dei solai in laterizio*.

B.N. SANDAKER, A.P. EGGEN, *Principi del costruire*, BEMA.

M. SALVADORI, R. HELLER, *Le strutture in architettura*.

## **ARCHITETTURA TECNICA II**

**BO, cds: D**

Docente: **Adolfo C. Dell'Acqua** prof. ord.

### **Finalità**

L'insegnamento ha la finalità di fornire agli allievi i mezzi culturali e gli strumenti metodologici e operativi per porre in relazione la concezione formale, il programma funzionale e l'impianto spaziale del progetto di architettura con lo studio degli elementi costruttivi e di fabbrica, nonché dei procedimenti di realizzazione.

La progettazione dell'organismo architettonico-edilizio viene vista alla luce della valutazione critica dei materiali e delle tecniche costruttive, nel quadro dei loro aspetti evolutivi ed applicativi alle fasi del processo progettuale.

### **Contenuti del programma**

Con riferimento alle relazioni tra scelte tecnologiche dei materiali, criteri di strutturazione co-

struttiva, organizzazione dell'impianto spaziale, risoluzione formale, nel Corso vengono sottolineati gli aspetti di realizzabilità del progetto di architettura.

La componente tecnologico-costruttiva viene considerata secondo un inquadramento di regole tipologiche, come fondamentale riferimento metodologico e operativo nello studio dei rapporti tra edifici e contesto di inserimento ambientale.

Per lo sviluppo del processo di progettazione si tiene conto, oltre che delle relazioni con il contesto, anche del quadro delle diverse esigenze abitative e delle risorse tecnologico-produttive, con specifico riferimento ai relativi aspetti procedurali e normativi.

Nell'ambito delle diverse fasi e implicazioni progettuali, vengono quindi affrontati i temi concernenti la concezione strutturale e la realizzazione dell'opera edilizio-architettonica, in relazione alle potenzialità e alle logiche d'impiego dei differenti materiali, ai procedimenti costruttivi ed alle problematiche di controllo e compatibilità ambientale delle scelte tecnologiche adottate.

In relazione alle finalità e agli orientamenti sopra indicati, gli ambiti di studio trattati nel Corso, concernono specificamente:

- l'iter di progettazione dell'organismo architettonico nello sviluppo del processo edile: fasi operative e procedure realizzative del progetto; tecniche e metodi di progettazione sistematica in rapporto alle componenti ambientali e tecnologiche; gli aspetti normativi – a livello ambientale, tecnologico e tipologico – nell'applicazione progettuale;
- i criteri di strutturazione dell'organismo in rapporto alla tipologia edilizia e l'applicazione dei procedimenti costruttivi tradizionali ed innovativi – in muratura, legno, acciaio e conglomerato cementizio armato – nei diversi sistemi statici continui e discontinui; l'organizzazione funzionale, costruttiva e formale degli elementi costruttivi e degli elementi di fabbrica, nonché lo studio delle connessioni e dei giunti tra i vari elementi, secondo la logica di impiego dei diversi materiali;
- lo studio dell'involucro dello spazio costruito, e degli elementi che lo compongono, con riferimento: alla configurazione geometrico-costruttiva; ai procedimenti realizzativi; al trattamento dei materiali nei vari tipi di chiusura esterna ed interna; alla strutturazione delle pareti e delle coperture, con particolare riferimento all'involucro dei grandi spazi coperti; alla risoluzione degli elementi di protezione e finitura e dei dettagli costruttivi, nelle diverse implicazioni progettuali.

Il corso comprende lezioni, esercitazioni ed attività di laboratorio.

Per quanto concerne il tema sviluppato nel laboratorio, si rimanda ad apposito programma; le esercitazioni concernono il tema della progettazione di un organismo abitativo plurifamiliare, considerato in relazione anche alle strutture di servizio per la residenza.

Specifici riferimenti bibliografici su materiali, sistemi e procedimenti costruttivi, saranno forniti in rapporto allo sviluppo dei diversi argomenti trattati nel Corso.

### Riferimenti bibliografici

- L. QUARONI, *Progettare un edificio – otto lezioni di architettura*, Mazzotta Ed., Milano, 1977 e successiva ristampa.
- P.N. MAGGI, *Il processo edilizio*, vol. I. Città Studi Ed., Milano, 1994
- C. CATALDI, *Sistemi statici in architettura*, Ed. Cedam, Padova, 1979.
- C. CANIGLIA, G.L. MAFFEI, *Composizione architettonica e tipologia edilizia*, vol. I e II, Marsilio ed., Venezia, 1987.
- P. MARETTO, *Realtà naturale e realtà costruita*, Uniedit, Firenze, 1984
- R. BOLLATI, S. BOLLATI, G. LONETTI, *L'organismo architettonico*, Allinea, Firenze, 1980.
- I. TAGLIAVENTI, *L'organismo architettonico*, Clueb ed., Bologna, 1988.



E. MANDOLESI, *Edilizia*, Utet, Torino, 1978-1991.

A. PETRIGNANI, *Tecnologie dell'architettura*, Görlich ed., Milano, 1981.

## ARTE MINERARIA

BO, cds: R

Docente: **Paolo Berry** prof. ord.

L'Insegnamento fornisce i principi fondamentali della progettazione, gestione e controllo di attività estrattive di minerali di 1a categoria e le linee guida più aggiornate per la soluzione dei problemi tipici dell'ingegneria mineraria. La progettazione viene esaminata alla luce dell'interconnessione con la tutela della sicurezza e dell'ambiente, dei criteri economici, finanziari e di mercato, delle normative vigenti, con particolare attenzione verso gli aspetti ambientali coinvolti dalle operazioni minerarie e di scavo. Gli aspetti fondamentali della progettazione, della gestione e del controllo sono affrontati mettendo in rilievo, con esempi ed applicazioni pratiche, l'importanza delle procedure di pianificazione, organizzazione e gestione dei processi e delle azioni elementari. Particolare attenzione viene rivolta ai metodi estrattivi ed alle tecniche di abbattimento (abbattimento meccanico, con esplosivi, ecc.), ai metodi per la valutazione della stabilità degli scavi minerari.

### Programma

**Approvvigionamento:** il mercato delle materie prime minerali. Recenti tendenze evolutive nella prospezione dei giacimenti. Fattori di rischio nell'approvvigionamento di minerali strategici.

**La coltivazione delle miniere:** parametri che influenzano il progetto. Criteri generali e fattori determinanti l'organizzazione di una coltivazione. Richiami sulla pianificazione dell'attività estrattiva. Tendenze attuali nelle scelte tecnico-economiche tra coltivazioni a cielo aperto ed in sotterraneo. Le grandi preparazioni ed i tracciamenti. Criteri per la determinazione della coltivabilità a giorno o in sotterraneo. Metodi di coltivazione in sotterraneo. Influenza dei problemi di stabilità nella scelta del metodo di coltivazione, sulla geometrie dei vuoti, sulle opere di stabilizzazione. Criteri generali per la stabilità delle strutture in roccia. La salvaguardia della sicurezza e della salubrità nelle gallerie, nei pozzi e nei grandi scavi di coltivazione sotterranei ed a cielo aperto. Ventilazione degli scavi in sotterraneo: condizioni ambientali di sicurezza e di salubrità, progetto di ventilazione per reti complesse. La subsidenza mineraria ed il suo controllo. Recupero ambientale di miniere dismesse: scelte tecniche ed economiche.

**Tecniche degli scavi:** Teoria dell'abbattimento. Abbattibilità delle rocce e dei terreni. Abbattimento meccanico con tagliatrici; macchine a scavo integrale e puntuale; abbattimento con esplosivi. Criteri di progettazione. Progetto di volate nello scavo delle gallerie e dei pozzi ed organizzazione del cantiere. Sismicità indotta dalle volate e problemi di sicurezza.

**Esercitazioni ed esame:** Le esercitazioni consistono nell'analisi dei temi sviluppati a lezione. L'esame consiste in un colloquio nel quale viene valutata la preparazione dello studente anche attraverso la presentazione del lavoro svolto durante il tirocinio pratico e/o di un progetto sviluppato dallo studente individualmente.

### Testi consigliati:

W.A. HUSTRULID, *Underground Mining Methods*.

C.J. HALL, *Mine Ventilation Engineering*.

V.S. VUTUKURI, R.D. LAME, *Environmental Engineering In Mines.*

AUTORI VARI, *Articoli tecnici e scientifici forniti dal docente.*

*Tesi di laurea:* Sono prevalentemente a carattere applicativo.

## **ATTUATORI ELETTRICI L**

**BO, cds: E**

Docente: **Angelo Tani** ric.

### *Introduzione ai sistemi elettromeccanici:*

Bilanci energetici nei sistemi elettromeccanici; relazioni fondamentali fra correnti, flussi concatenati, energia, coenergia, forze e coppie; modelli di campo di tipo monodimensionale e bidimensionale; tensore di Maxwell; magneti permanenti.

### *Generalità sugli attuatori elettrici:*

Forze di attrazione, scorrimento, succhiamento e magnetostrizione; studio di semplici attuatori lineari con e senza magneti permanenti; criteri generali di dimensionamento e scelta degli attuatori.

### *Soluzione numerica dei campi:*

Equazione di Poisson e condizioni al contorno; formulazione variazionale per campi stazionari; introduzione al metodo delle differenze finite e degli elementi finiti; calcolo dei coefficienti di auto e mutua induzione di bobine in sistemi a levitazione elettromagnetica; calcolo di forze; esempi di applicazione al calcolatore.

L'insegnamento è integrato da esercitazioni teoriche e al calcolatore.

*Esame:* orale.

## **AUTOMAZIONE ED ORGANIZZAZIONE SANITARIA**

**BO, cds: L**

Docente: **Claudio Lamberti** prof. ass.

L'insegnamento tratta problemi connessi con l'organizzazione e la gestione di una struttura sanitaria, in particolare per ciò che concerne le apparecchiature biomediche.

Vengono illustrati i principi di funzionamento di alcune tipologie di apparecchiature biomediche, e le metodologie ed i supporti tecnologici oggi disponibili per una loro gestione corretta e sicura.

### **Programma**

#### **1. Sistemi diagnostici.**

Evoluzione della tecnologia nei presidi sanitari. Laboratorio di Elettrocardiografia diagnostica e di Elettrocardiografia dinamica. Unità di Terapia Intensiva e monitoraggio al posto-letto. Apparecchiature a Raggi X. Laboratorio di cateterismo cardiaco. Ultrasuoni ed Ecografia. Litotritore extracorporeo. Tomografia Computerizzata. Risonanza Magnetica Nucleare. Valutazione della accuratezza di test diagnostici.

## 2. Tecnologie Biomediche ed Ingegneria Clinica.

Definizioni e classificazione. Dati orientativi sulla consistenza del parco tecnologico. L'ingegnere clinico ed il tecnico biomedico: attività e competenze. La gestione delle tecnologie nei presidi sanitari. L'acquisizione e la manutenzione delle apparecchiature. Criteri per il dimensionamento di un Servizio di Ingegneria Clinica.

## 3. Le Norme ed il Technology Assessment

Le normative per assicurare un uso corretto e sicuro delle tecnologie biomediche. La certificazione di qualità. Il processo di Valutazione delle Tecnologie Biomediche.

## 4. Sistemi Informativi Sanitari.

Caratteristiche generali dei principali componenti di un Sistema Informativo Sanitario. Modello centralizzato e modello distribuito. Cartella clinica tradizionale e problemi relativi alla sua informatizzazione. Indicatori sanitari. Raggruppamenti Omogenei di Diagnosi (DRG/ROD) e loro utilizzo.

**Visite guidate presso alcune strutture sanitarie.**

**Seminari tenuti da esperti esterni.**

*Testi consigliati:*

C. LAMBERTI, W. RAINER: *Le Apparecchiature Biomediche e la loro Gestione*. Collana di Ingegneria Biomedica. Patron Editore, Bologna, 1998.

*Clinical Engineering. Principles and Practices*. Edited by J.G. Webster and A.M. Cook. Prentice-Hall, 1979.

*Management of Medical Technology. A Primer for Clinical Engineers*. Edited by J.D. Bronzino. Butterworth-Heinemann, 1992.

*Diagnostica per immagini a Raggi X: principi fisici ed aspetti tecnologici*. A cura di P. Comandini, L. Pierotti e C. Lamberti. Esculapio Editore, 1996.

Vengono forniti inoltre appunti preparati dal docente contenenti anche le indicazioni bibliografiche per l'approfondimento di temi specifici.

## AUTOMAZIONE INDUSTRIALE

BO, cds: G\_BO, I

Docente: Carlo Amanti prof. inc.

### *Organizzazione di imprese e progetti produttivi*

Vengono presentati i concetti e gli aspetti teorici fondamentali nell'organizzazione della produzione industriale, analizzando le singole applicazioni soprattutto nell'ambito delle industrie manifatturiere e ponendo particolare attenzione agli aspetti tecnologici e ingegneristici.

In particolare viene posto l'accento sul legame tra produzione e automazione analizzando tutti gli aspetti dell'integrazione tra processi produttivi e informatica (CAPP, CAD, CAM, CIM).

Partendo dalla conoscenza della evoluzione storica del processo di automazione si presentano gli sviluppi attuali e futuri (FMC-FMS-FAS) analizzando anche alcuni aspetti più propriamente organizzativi e finanziari utilizzando semplici modelli matematici.

### *Sistemi CAD/CAM*

Vengono presentati gli argomenti specifici della progettazione, realizzazione ed utilizzo di prodotti CAD/CAM sia a livello di ingegneria del software (linguaggi di programmazione, realizzazione di interfacce grafiche, algoritmi di calcolo) sia ancora più in dettaglio studiando alcuni

aspetti geometrico-matematici con l'ausilio della programmazione ad oggetti in C++.

In particolare si potrà conoscere i metodi algoritmici utilizzati per la modellazione solida costruttiva (CSG) e analizzare le primitive geometriche fondamentali dei software CAD sia bidimensionali che tridimensionali.

Si analizzeranno anche alcuni aspetti tecnologici legati alle soluzioni hardware adottate per le tecniche di disegno e progettazione assistiti.

#### *Sistemi di lavorazione a controllo numerico (CN)*

Questa parte del programma è interamente dedicata allo studio della programmazione di macchine a controllo numerico. Verranno esaminati i diversi tipi di sistemi per la lavorazione automatica di parti (CN-CNC-DNC) soffermandosi sia sugli aspetti tecnologici, sia su quelli informatici. In particolare vengono esaminati i linguaggi di programmazione standard a basso livello (G-Code o ISO) e ad alto livello (APT-SPPL).

Vengono presentati, inoltre, diversi esempi acquisiti direttamente dai manuali di programmazione di alcune macchine a CN reali.

#### *Pianificazione dei processi (Process planning)*

In quest'ultima parte dell'Insegnamento verranno esaminati gli aspetti più propriamente gestionali dell'automazione della produzione. Verranno presentati i metodi più utilizzati nella gestione e programmazione industriale (MRP-MRPII-JIT) cercando di conoscere a fondo sia la filosofia che sta alla base dei singoli metodi, sia la base logica e matematica che permette di ricavare e di studiare i modelli analitici dei processi.

Vengono esaminati alcuni progetti realmente realizzati (Case study) presentati da tecnici coinvolti direttamente.

## **AUTOMAZIONE INDUSTRIALE**

**BO, cds: E**

Docente: **Giuseppe Basile** prof. ord.

L'Insegnamento costituisce un complemento di Controlli automatici e di Elettronica applicata ed ha l'obiettivo di fornire una preparazione orientata verso il controllo mediante calcolatori elettronici.

1) Complementi all'insegnamento di controlli automatici: sistemi di regolazione a dati campionati, elaborazioni digitali per la correzione della dinamica, stabilità in presenza di campionamento, controllo numerico di processi industriali.

2) Circuiti analogici lineari: amplificatori operazionali, amplificatori in alternata, amplificatori a chopper per strumentazione, amplificatori differenziali per strumentazione, circuiti di campionamento e tenuta. Circuiti analogici non lineari: comparatori, rettificatori di precisione, limitatori, rilevatori di picco, oscillatori sinusoidali, generatori di clock oscillatori controllati in tensione, convertitori tensione-frequenza e frequenza-tensione, moltiplicatori. Conversione analogico-digitale e digitale-analogica: sistemi ad approssimazioni successive, ad inseguimento e a doppia rampa.

3) Circuiti elettronici per l'automazione: richiami di reti logiche e cenno alle principali famiglie logiche integrate; elaborazione elettronica locale per misuratori a trasformatore differenziale, sincro e inductosyn; azionamenti elettronici di motori in c.c.; dispositivi di conteggio e visualizzazione, standard per la trasmissione dei segnali numerici ad unità di controllo locale.

4) Sistemi elettronici per l'automazione: architettura dei sistemi a microprocessore ed illustrazione dettagliata di un sistema a logica programmabile e di alcune applicazioni al controllo automatico di macchine utensili; realizzazione di un posizionatore di precisione comandato da un sistema a logica programmabile a sua volta collegato ad un elaboratore mediante sistema di trasmissione seriale o parallelo; cenno alla realizzazione di sistemi multiassi.

**Testi consigliati**

Verranno forniti ausili didattici da fotocopiare. La parte 2 del programma sarà coordinata con quella di analogo contenuto dell'insegnamento di Controlli automatici.

**Propedeuticità consigliate:** Elettrotecnica I e II. Macchine elettriche, Elettronica applicata.

**AVIONICA E SISTEMI DI RADIOCOMUNICAZIONE L****FO, cds: cla, dua****Docente: Claudia Carciofi prof. inc**

Analisi spettrale dei segnali

Trasformata di Fourier

Analisi dei segnali nel dominio del tempo

Analisi di segnali discreti nel dominio delle frequenze

Trasformata di Fourier di segnali discreti

Trasformata discreta di Fourier (DFT)

Teorema di Shannon

Segnali ad energia finita

Segnali a potenza finita

Spettro di energia e spettro di potenza

Concetti di base della teoria della probabilità

Definizione di probabilità e di variabile aleatoria

Distribuzione cumulativa e densità di probabilità

Media e varianza di una variabile aleatoria

Processi aleatori stazionari ed ergodici

Segnali analogici in banda base:

Banda del segnale telefonico e del segnale video

Conversione Analogico/Digitale e Digitale/Analogico

Convertitori di frequenza in salita e in discesa

Moltiplicazione a divisione di frequenza

Moltiplicazione a divisione di tempo

Modulazioni analogiche AM, PM, FM, QAM

Modulazioni numeriche ASK, PSK, FSK, QAM

Il rumore nei circuiti elettrici

Rumore termico, rumore granulare

Rumore di ripartizione, rumore di scintillazione

Cifra di rumore e temperatura equivalente di rumore di un quadripolo

Temperatura equivalente di rumore di una sorgente di segnale

Rapporto segnale/rumore per sistemi analogici passa-basso e passa-banda

Propagazione elettromagnetica

L'antenna e il suo circuito equivalente

Diagramma di radiazione

Antenne filiformi, antenne a superficie, schiere di antenne

Dipolo lambda mezzi, paraboloidei

Formule di trasmissione in spazio libero

Attenuazioni supplementari rispetto allo spazio libero

Effetto dell'atmosfera

Riflessione dal suolo

- Diffrazione su ostacoli naturali
- Definizioni dei vettori campo elettrico e campo magnetico
- Equazioni di Maxwell in forma integrale
- Il sistema GPS
- Trasmissione Spread Spectrum
- Architettura del sistema GPS
- Caratteristiche del segnale trasmesso
- Caratteristiche del ricevitore GPS
- Incertezza nel calcolo della posizione
- Il sistema LAAS (*Local Area Augmentation System*)
- Sistemi di radiocomunicazione
- Sistemi VHF e HF: frequenze e modulazioni utilizzate
- Installazione tipica di bordo
- Comandi e controlli tipici
- Schema a blocchi di un ricetrasmittitore
- Antenne filari, "notch", "probe"
- Sistemi di radionavigazione:
- Principio di funzionamento del VOR convenzionale (CVOR)
- Schema a blocchi della stazione di terra
- Schema a blocchi del ricevitore VOR
- Principio di funzionamento dell'ILS
- Principio di funzionamento del sistema DME
- Frequenze di funzionamento e tipi di interrogazione
- Principio di funzionamento del radar secondario di Sorveglianza, differenze e vantaggi rispetto al radar primario
- Schema a blocchi semplificato e presentazione sul PPI (Plane Position Indicator)
- Traffic advisory and Collision Avoidance System (TCAS)

## AZIONAMENTI ELETTRICI

BO, cds: M

Docente: **Francesco Profumo** prof. ord.

L'Insegnamento si propone di presentare le principali problematiche relative all'impiego degli azionamenti elettrici nei sistemi di automazione industriale. Sono esaminati gli azionamenti elettrici in corrente continua ed in corrente alternata in modo da evidenziarne le caratteristiche di funzionamento in riferimento ai vari tipi di impiego. Per ogni tipologia di azionamento sono analizzati i principali componenti di potenza quali l'attuatore ed il convertitore per l'alimentazione. Vengono analizzate con particolare attenzione le moderne tecniche di alimentazione dei motori elettrici che consentono di ottenere elevate prestazioni dinamiche.

### *Azionamenti con motori in c.c.*

Caratteristiche dei motori in corrente continua con eccitazione convenzionale ed a magneti permanenti. Funzionamento a coppia costante ed a potenza costante. Regolazione della velocità di controllo sull'armatura e sull'eccitazione. Alimentazione dei motori in c.c. con raddrizzatori controllati e chopper per funzionamento su uno, due e quattro quadranti. Azionamenti per assi e per mandrino.

### *Azionamenti con motori sincroni*

Caratteristiche delle macchine sincrone a rotore liscio ed a poli sporgenti. Varie tipologie di

motori sincroni a magneti permanenti. Motori sincroni autoavvianti per azionamenti multimotore. Alimentazione tramite convertitori statici di frequenza per il controllo della velocità. Caratteristiche dei motori brushless a tecnica trapezia ed a tecnica sinusoidale. Controllo di coppia. Campi di applicazione e confronti con gli azionamenti in c.c.

#### *Azionamenti con motori asincroni*

Caratteristiche dei motori asincroni. Funzionamento con rapporto tensione/frequenza per la regolazione di velocità. Campo di funzionamento a coppia costante ed a potenza costante. Controllo di coppia con azionamenti a scorrimento controllato. Cenni sulle tecniche di controllo ad orientamento di campo per azionamenti ad alte prerogative dinamiche.

#### *Azionamenti con motori passo*

Varie tipologie dei motori passo. Caratteristiche di funzionamento. Tecniche di alimentazione. Problemi relativi alle fasi di avviamento e frenatura. Possibilità di funzionamento in catena aperta e catena chiusa. Motori a riluttanza. Campi di applicazione.

#### *Attuatori diretti*

Principali caratteristiche degli attuatori diretti di tipo rotante e di tipo lineare. Analisi di alcuni particolari tipi di attuatori lineari in corrente continua senza spazzole. Applicazione degli attuatori lineari nei sistemi di posizionamento con inseguimento di profili di velocità.

#### *Esercitazioni*

Il Corso comprende esercitazioni teoriche e pratiche. Nelle esercitazioni teoriche vengono affrontati problemi di dimensionamento e scelta di azionamenti elettrici per applicazioni particolari. Nelle esercitazioni pratiche svolte in laboratorio vengono esaminate le caratteristiche dinamiche dei vari tipi di azionamenti mediante registrazioni delle grandezze elettriche e meccaniche durante i transitori. Con riferimento agli azionamenti con motori brushless e motori passo vengono inoltre esaminate le possibilità di generare movimenti con prefissate traiettorie di posizione e velocità.

#### *Testi consigliati:*

A.E. FITZGERALD, C. KINGSLEY JR., A. KUSKO, *Macchine Elettriche*, Franco Angeli Editore, Milano, 1978.

JOHN M.D. MURPHY, F.G. TURNBULL, *Power Electronic Control of AC Motors*, Pergamon Press, Oxford, 1988.

TAKASHI KENJO, *Stepping motors and their microprocessor controls*, Clarendon Press, Oxford, 1985.

RONALD J. TOCCI, LESTER P. LASKOWSKI, *Microprocessor and Microcomputer*, Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

Appunti integrativi forniti durante il Corso.

*Esame:* consta di una prova orale.

*Propedeuticità consigliate:* Elettrotecnica, Controlli Automatici.

**AZIONAMENTI ELETTRICI L**

BO, cds: N, E, A

Docente: **Domenico Casadei** prof. straordinario.**Finalità del corso**

Il corso si propone di presentare le principali problematiche relative all'impiego degli azionamenti elettrici nei sistemi di automazione industriale. Sono esaminati gli azionamenti elettrici in corrente continua ed in corrente alternata in modo da evidenziarne le caratteristiche di funzionamento in riferimento ai vari tipi di impiego.

**Programma**

*Azionamenti con motori in c.c.* – Caratteristiche dei motori in corrente continua. Regolazione della velocità con controllo sull'armatura e sull'eccitazione. Funzionamento a coppia costante ed a potenza costante. Alimentazione dei motori in c.c. con raddrizzatori controllati e chopper per funzionamento su uno, due e quattro quadranti. Azionamenti per assi e per mandrino.

*Azionamenti con motori brushless* – Caratteristiche delle macchine sincrone a rotore liscio ed a poli sporgenti. Varie topologie di motori sincroni a magneti permanenti. Alimentazione tramite convertitori statici di frequenza per il controllo della velocità. Caratteristiche dei motori brushless a tecnica trapezia ed a tecnica sinusoidale. Campi di applicazione e confronti con gli azionamenti in c.c.

*Azionamenti con motori asincroni* – Caratteristiche dei motori asincroni. Alimentazione tramite convertitori statici di frequenza per la regolazione di velocità. Azionamenti in catena aperta ed azionamenti in catena chiusa. Campo di funzionamento a coppia costante ed a potenza costante.

*Azionamenti con motori pass-passo* – Varie tipologie dei motori passo. Caratteristiche di funzionamento. Tecniche di alimentazione. Problemi relativi alle fasi di avviamento e frenatura. Motori a riluttanza. Campi di applicazione.

*Esercitazioni* – Il Corso comprende esercitazioni teoriche e pratiche. Nelle esercitazioni teoriche vengono affrontati problemi di dimensionamento e scelta di azionamenti elettrici. Nelle esercitazioni pratiche vengono analizzate le caratteristiche di funzionamento di azionamenti di tipo industriale.

*Esame* L'esame comprende una prova orale sugli argomenti svolti nelle lezioni teoriche e la discussione di una prova sperimentale.

**Testi consigliati:**

A.E. FITZGERALD, C. KINGSLEY JR., A. KUSKO, *Macchine Elettriche*, Franco Angeli Editore, Milano, 1978.

JOHN M.D. MURPHY, F.G. TURNBULL, *Power Electronic Control of AC Motors*, Pergamon Press, Oxford, 1988.

TAKASHI KENJO, *Stepping motors and their microprocessor controls*, Clarendon Press, Oxford, 1985.

T.J.E. MILLER, *Brushless permanent-magnet and reluctance motor drives*, Clarendon Press, Oxford, 1989.

T.J.E. MILLER, *Switched reluctance motor and their control*, Clarendon Press, Oxford, 1989.

Appunti integrativi forniti durante l'Insegnamento.



**AZIONAMENTI ELETTRICI****FO, cds: dum, clm**Docente: **Giovanni Serra** prof. ass.*Finalità del corso*

Il corso affronta le problematiche inerenti l'impiego degli azionamenti elettrici nei sistemi di automazione industriale. Vengono esaminati gli azionamenti con macchine a corrente continua e a corrente alternata. Per ogni tipologia sono evidenziate le caratteristiche di funzionamento in relazione al tipo di impiego con riferimento sia all'attuatore che al convertitore per l'alimentazione.

*Programma*

*Azionamenti con motori a corrente continua.* Caratteristiche dei motori c.c. nelle varie modalità di alimentazione e di eccitazione. Regolazione della velocità mediante controllo dell'armatura e dell'eccitazione. Alimentazione di motori c.c. mediante raddrizzatore controllato e chopper. Funzionamento su uno, due e quattro quadranti. Azionamenti per assi e per mandrini.

*Azionamenti con motori sincroni.* Motori sincroni con rotore liscio ed a poli sporgenti. Motori sincroni a magneti permanenti. Alimentazione tramite convertitori statici a corrente ed a tensione impressa. Caratteristiche dei motori brushless.

*Azionamenti con motori asincroni.* Caratteristiche dei motori asincroni nel funzionamento a flusso costante e con rapporto costante tensione/frequenza. Alimentazione tramite convertitori statici. Campi di funzionamento a coppia costante ed a potenza costante. Azionamenti a controllo di scorrimento. Cenni sulle tecniche di controllo ad orientamento di campo.

*Azionamenti con motori passo.* Varie tipologie di motori passo. Caratteristiche di funzionamento, tecniche di alimentazione, regioni di instabilità. Motori switched-reluctance.

*Testi consigliati*

FITZGERALD A.E., KINGSLEY C. JR., KUSKO A., *Macchine Elettriche*, Franco Angeli Editore, Milano.

CHAPMAN S.J., *Macchine elettriche*, Gruppo Editoriale Jackson, Milano.

O'KELLY D., *Performance and control of electrical machines*, McGraw-Hill Book Company.

**BASI DI DATI L****BO, cds: P**Docente: **Fabio Grandi** prof. ass.*Finalità*

Il corso si propone di fornire gli strumenti teorici e pratici necessari all'utilizzo razionale di un sistema informativo basato su piattaforma DBMS relazionale ed alla sua amministrazione, nonché una conoscenza di base di alcune delle tecnologie impiegate nella loro realizzazione. Una parte del corso è dedicata ad esercitazioni pratiche sul sistema MS-Access.

*Programma*

Sistemi informativi aziendali e sistemi per la gestione di basi di dati (DBMS). Introduzione ai concetti fondamentali sui sistemi informativi e sulle basi di dati relazionali. Teoria relazionale (versione "informale" e versione formale): definizioni di base, algebra relazionale, forme normali.

Il linguaggio standard SQL: DDL e DML. Interrogazioni semplici (query SPJ) e complesse: funzioni aggregate, raggruppamento, annidamento e uso di quantificatori, variabili relazionali e correlazione. Definizione ed uso di viste. La qualità dei dati: gestione di vincoli d'integrità e normalizzazione. Procedure e trigger (basi di dati attive).

Il sistema MS-Access. Uso di SQL, interfacce visuali e QBE. Amministrazione della base di dati. Esecuzione di query interattive. Sviluppo di applicazioni tramite linguaggio ospite: embedded SQL, cursori, accesso tramite ODBC.

Elementi di tecnologia relazionale. Indicizzazione dei dati tramite B+tree. Architettura generale di un DBMS relazionale. Sintesi ed ottimizzazione delle interrogazioni: metodi di accesso ai dati, algoritmi di join, calcolo dei costi di accesso (cenni).

### *Bibliografia Obbligatoria*

Sono disponibili in fotocopia e sul Web appunti informali rilasciati dal docente.

P. ATZENI, S. CERI, S. PARABOSCHI, R. TORLONE, *Basi di dati*, Mc Graw Hill, seconda edizione, 1999.

R. VAN DER LANS, *Introduzione a SQL*, Addison-Wesley, 2001.

## **BIOCHIMICA BS**

CE, cds: clb

Docente: Emanuele Giordano ric.

### **Finalità:**

Il Corso intende offrire una visione degli eventi molecolari che si svolgono in scala cellulare, proponendo analogie con la tecnologia corrente su scala macroscopica.

L'obiettivo dell'insegnamento è uno sguardo aggiornato alle soluzioni pratiche che la cellula sfrutta per svolgere le sue funzioni generali attraverso l'equipaggiamento molecolare del quale è dotata.

È atteso che chi fruisce del Corso sviluppi una conoscenza biochimica di base orientata verso una prospettiva operativa nell'ambito dell'ingegneria cellulare e della nanomedicina.

### **Requisiti richiesti:**

Rilettura del programma dell'Insegnamento di Chimica (eventualmente) seguito durante il precedente Corso triennale.

Comprensione della lingua inglese scritta.

### **Programma del Corso**

Saranno sviluppati i seguenti argomenti:

Propeudeutica biochimica;

Macromolecole (Acidi nucleici, Proteine, Carboidrati, Lipidi);

La scena dell'azione (la cellula);

Catalisi e cinetiche enzimatiche;

Processi estrattivi dell'energia: metabolismi;

Archivio e flusso dell'informazione (Codice genetico, Replicazione e trascrizione del DNA, Traduzione dell'RNA, Sintesi proteica e processi post-traduzionali, Regolazione dell'espressione genica);

Interazioni tra cellule: vie di segnale inter- e intracellulari;

Cinetica cellulare (traffico intracellulare, contrazione, movimento);

Argomenti di biochimica sistematica umana;  
Tecnologia del DNA ricombinante;  
Nanomedicina.

**Testo di riferimento:**

Molecular Biology of the Cell, Julian Lewis Martin Raff Alexander Johnson Keith Roberts  
Peter Walter Bruce Alberts, 4th ed., 1616pp. ISBN: 0815332181, Editore: Garland Publishing, Incorporated. Data di pubblicazione: Maggio 2002.

**Modalità di svolgimento dell'esame:**

Scritto e orale

**Ricevimento Studenti:**

Tutti i giorni, per appuntamento.

**BIOCHIMICA INDUSTRIALE**

**BO, cds: R, Q**

Docente: **Fabio Fava** prof. ass.

**ELEMENTI DI BIOCHIMICA**

Il ruolo della biochimica: la logica molecolare degli organismi. Le biomolecole e le macromolecole biologiche. Lo scambio di energia e di materia negli organismi.

Cellule procariote ed eucariote. Caratteristiche principali e ruolo biologico del nucleo, dei plasmidi, dei mitocondri, del reticolo endoplasmatico, dell'apparato del Golgi, dei lisosomi e perossisomi, del citoplasma, della membrana citoplasmatica, della parete cellulare e dei flagelli e pili.

Gli aminoacidi: loro struttura chimica, proprietà chimiche e stereochimiche e loro analisi chimica.

Peptidi e proteine: struttura e funzione biologica. La struttura primaria delle proteine e sua determinazione. La struttura secondaria, terziaria e quaternaria delle proteine: esempi di proteine fibrose e globulari di maggiore interesse biologico. Gli enzimi: loro funzione, classificazione e nomenclatura. Il meccanismo delle reazioni enzimatiche, velocità di reazione e i fattori che la controllano. Equazione di Michaelis-Menten. Meccanismi di inibizione enzimatica. Regolazione non covalente e covalente degli enzimi. Isoenzimi.

Le vitamine: loro importanza, classificazione, chimismo e proprietà biologiche.

I carboidrati di interesse biologico: classificazione, struttura chimica, stereoisomeria e reattività.

I lipidi: classificazione, struttura chimica e loro funzione biologica.

Acidi nucleici: chimismo e struttura del DNA e RNA. Replicazione del DNA e sue fasi. La trascrizione: sintesi dell'RNA messaggero e modifiche post-trascrizionali. La sintesi proteica: i ribosomi, l'RNA di trasferimento, le fasi principali del processo e le modificazioni post-traduzionali. Regolazione della sintesi proteica.

Il metabolismo: vie anaboliche e cataboliche e loro regolazione. Energia libera e bioenergetica cellulare. Il chimismo e la funzione biologica dell'ATP, NAD<sup>+</sup> (e NADP<sup>+</sup>) e FAD (e FMN).

La via glicolitica di Embden-Meyerhof: fasi, bilancio energetico e regolazione. Fermentazione alcolica e omolattica e loro bilancio energetico. Accesso dei carboidrati principali nella via glicolitica.

Il ciclo di Krebs: fasi, bilancio energetico e regolazione.

La fosforilazione ossidativa e sintesi di ATP: fasi e regolazione del processo.

## ELEMENTI DI MICROBIOLOGIA

Classificazione dei microorganismi. Caratteristiche principali dei batteri, lieviti e muffe di interesse industriale.

Categorie nutrizionali e costituenti dei terreni di coltura. Terreni colturali naturali, sintetici e industriali.

Culture miste e colture pure. Crescita microbica e fattori chimici e fisici che la influenzano. Culture *batch*, *fed-batch* e continue. Metodi di sterilizzazione e metodi di misura della concentrazione microbica di una coltura liquida.

## ELEMENTI DI BIOTECNOLOGIA INDUSTRIALE

Aspetti generali delle produzioni biotecnologiche di interesse industriale. Fermentatori, processi di fermentazione e di recupero del prodotto.

Aspetti biochimici, microbiologici, chimici e tecnologici relativi alla produzione industriale di lievito e di cellule microbiche quali fonti di proteine alimentari, etanolo, acidi organici (acido citrico e acetico), aminoacidi (acido L-glutammico e L-lisina), vitamine (cianocobalammina o B12, riboflavina o B2 e acido citrico) e antibiotici (penicilline, cefalosporine e tetracicline). Produzione di enzimi microbici e loro utilizzazione industriale. Produzione industriale di enzimi e tecniche di immobilizzazione. Proprietà degli enzimi immobilizzati e loro impieghi a livello industriale. Immobilizzazione di cellule e loro impiego industriale.

### Testi consigliati

LEHNINGER, NELSON, COX, *Introduzione alla Biochimica*, Zanichelli, Bologna, 1997.

LEHNINGER, NELSON, COX, *Principi di Biochimica - I<sup>a</sup> Ed.*, Zanichelli, Bologna, 1993.

BROCK, MADIGAN, MARTINKO, PARKER, *Microbiologia*, Città Studi Edizioni (UTET), Milano, 1995.

MATTEUZZI, BRIGIDI, *Chimica delle Fermentazioni e Microbiologia Industriale*, Libreria Asterisco, Bologna, 1996/97.

MARZONA, *Chimica delle Fermentazioni e Microbiologia Industriale*, Piccin Nuova Libreria, Padova, 1996.

QUAGLIERINI, VANNINI, PALADINO, *Chimica delle Fermentazioni e Laboratorio*, Ed. Zanichelli, Bologna, 1995.

FRONTALI e SCHIESSER, *Chimica delle Fermentazioni e microbiologia industriale*, Ed. EURoma, Roma, 1990.

### Esame

L'esame consiste in una prova orale.

## BIOINGEGNERIA II

## BIOMECCANICA LS

Docente: **Angelo Cappello** prof. straord.

BO, cds: L (V.O.)

BO, cds: L (N.O.)

Scopo dell'insegnamento è quello di fornire una visione unificante dei fenomeni biomeccanici nel sistema muscolo-scheletrico. Partendo dalla meccanica dei corpi rigidi viene affrontato lo studio cinematico e dinamico del movimento umano, sottolineandone la rilevanza in clinica ortopedica, riabilitazione e medicina sportiva.

L'insegnamento è specificatamente orientato agli allievi elettronici, non solo per la scelta dei

contenuti, ma anche per la trattazione sistemistica dei problemi orientata alla loro soluzione mediante calcolatore elettronico.

### Programma

1. Introduzione. La biomeccanica: definizione ed ambiti applicativi. Analisi del movimento umano: obiettivi ed evoluzione storica. Anatomia e funzione del sistema muscolo-scheletrico. Componenti principali: ossa, cartilagine, muscoli, tendini, legamenti. Le articolazioni: geometria e funzione. Modellistica del sistema muscolo-scheletrico. Il diagramma del corpo libero.

2. Dal punto materiale al corpo rigido. Cinematica del corpo rigido. Tecniche strumentali per la cinematica, rassegna dei metodi, stereo-fotogrammetria. Cinematica dei segmenti corporei a partire da cluster di markers. Protocolli di acquisizione della cinematica dei segmenti corporei: CAST, RSA e videofluoroscopia. Cinematica articolare. Artefatti e loro propagazione. Casi clinici: protesi di ginocchio.

3. Dinamica del corpo rigido. Leggi della statica e della dinamica applicate ai corpi rigidi. Forze attive e reazioni vincolari: teoria della trave. Stima delle forze articolari e muscolari in condizioni statiche. Tecniche strumentali per la dinamica: pedane dinamometriche e baropodometriche. Dinamica dei segmenti corporei. Problema dinamico diretto ed inverso. Tecniche strumentali per la misura dell'attività muscolare. Casi clinici. Biomeccanica della postura eretta e controllo posturale.

### Esercitazioni

L'insegnamento è integrato da esercitazioni di laboratorio volte a favorire la capacità di definire e risolvere concreti problemi di biomeccanica. Esercitazioni in laboratorio informatico consentiranno di progettare e simulare esperimenti in modo realistico. Questi verranno successivamente realizzati nel laboratorio di Analisi del Movimento per dare risposte a quesiti clinici in ambito ortopedico e riabilitativo. Lo svolgimento di tesine consentirà a gruppi di studenti di approfondire alcuni aspetti del corso.

**Esame:** Prova scritta intermedia, esame orale finale.

### Testi consigliati

D.A. WINTER, *Biomechanics and motor control of human movement*, New York, John Wiley, 1990

B.M. NIGG, W. HERZOG (eds.) *Biomechanics of the musculo-skeletal system*, John Wiley, New York, 1995

V.M. ZATSIORSKY, *Kinematics of human motion*, Human Kinetics, Champaign (ILL), 1998.

V.M. ZATSIORSKY, *Kinetics of human motion*, Human Kinetics, Champaign (ILL), 2002.

## BIOINGEGNERIA III

Docente: **Silvio Cavalcanti** prof. ass.

**BO, cds: L**

L'insegnamento illustra le basi dell'analisi modellistica dei fenomeni e dei processi biofisici e si propone di fornire gli elementi essenziali per la comprensione dei sistemi biologici complessi. L'allievo è introdotto a differenti classi di modelli ed alle diverse finalità che l'analisi modellistica dei sistemi biologici cerca di perseguire. Sono discussi i principali approcci della modellistica biologica (modelli dei dati, modelli dei processi e modelli dei fenomeni) cercando

di contemperare l'approccio deterministico a quello stocastico. Sono presentati i principali strumenti per l'analisi del comportamento dinamico di un biosistema, per lo sviluppo dei simulatori e per la generazione di dati simulati. L'allievo deve familiarizzare con le tecniche di rappresentazione astratta dell'osservazione sperimentale attraverso esempi che illustrano come si derivano le equazioni dei modelli, in particolare: modelli cinetici di reazioni molecolari ed enzimatiche con saturazione, modelli di meccanismi in retroazione che operano la regolazione di variabili fisiologiche, modelli d'interazione tra meccanismi in competizione o in cooperazione, modelli di fenomeni a costanti distribuite.

### *Simulazione numerica*

Classificazione dei metodi d'integrazione numerica. Errori d'integrazione. Richiami sui criteri per l'analisi della stabilità. Rassegna sul software per la simulazione numerica.

### *Analisi globale*

Operatore evoluzione e flusso. Invarianti al flusso. Punti di equilibrio, cicli limiti e tori. Soluzioni periodiche e quasi-periodiche. Comportamento asintotico. Insiemi limiti, attrattore e repulsore. Invariante iperbolico e non iperbolico. Varietà associate ad un invariante iperbolico. Separatrici e bacini di attrazione.

### *Analisi locale*

Spazio degli stati e ricerca delle condizioni d'equilibrio. Equivalenza topologica tra sistemi. Teorema di Hartman-Grobman. Linearizzazione nell'intorno di una condizione d'equilibrio. Teorema della varietà stabile e della varietà centrale. Topologia delle traiettorie nell'intorno di un punto d'equilibrio. Classificazione dei punti d'equilibrio.

### *Teoria delle biforcazioni*

Proprietà strutturali di un sistema dinamico. Biforcazioni come collisioni tra invarianti Biforcazioni locali e biforcazioni globali. Biforcazioni catastrofiche e non catastrofiche Biforcazione di Hopf sub- e super-critica. Teorema di Lienard. Biforcazione fold e flip. Sistemi con funzione potenziale e forme minime. Biforcazione nodo-sella, forcone e tangente. Catastrofe a cuspidale e a piega. Ciclo di isteresi. Biforcazione di Neimark-Sacker sub- e super-critica. Biforcazione omoclina e biforcazione eteroclina. Mappa di Poincaré per lo studio delle biforcazioni.

### *Sistemi a dinamica complessi*

Regime caotico. Invarianti strani. Infinita sensibilità alle condizioni iniziali. Impredicibilità di un sistema caotico. Transizione al caos. La cascata di flip e la costante di Feigenbaum Lo scenario di Takens-Ruelle Dinamica di Verhulst. Dimensione frattale. Insiemi di Cantor e mappa di Smale. Autovalori generalizzati. Moltiplicatori caratteristici. Entropia ed esponente di Hurst e di Lyapunov. Dimensione di correlazione. Teorema di Takens Caratterizzazione frattale di strutture biologiche e di processi d'accrescimento.

### *I sistemi neuro-sensoriali*

Richiami alle leggi termodinamiche: il potenziale elettrochimico e l'energia libera. E potenziale di equilibrio di una membrana. La legge di Nernst. Equilibrio di più specie ioniche: la legge di Goldman. Meccanismi di trasporto attivo: la pompa sodio-potassio. Analogo elettrico della membrana cellulare. Il potenziale di membrana propagato lungo una fibra nervosa: modello lineare. Caratteristiche e funzione del potenziale d'azione. Gli esperimenti e il modello di Hodgkin-Huxley. Modello del potenziale d'azione propagato lungo una fibra nervosa. Caratteristiche principali della trasmissione sinaptica. La competizione laterale e la formazione di mappe auto-organizzate. Elementi di organizzazione della corteccia cerebrale. La retina. Elaborazione dell'informazione nella retina: il riconoscimento dei contorni, del movimento e del colore.

### **Meccanismi di regolazione cardiovascolare**

Il sistema cardiovascolare in assenza di controllo: il modello di Attinger. Fattori che determinano la gittata cardiaca: la pressione di riempimento sistemica, il ritorno venoso e la legge di Starling. Il sistema baroriflesso: caratteristiche principali delle parti afferenti, efferenti, e degli effettori.

### **Esempi trattati nel corso delle esercitazioni**

Innesco di oscillazioni in un sistema biomeccanico. Modello di pompa cardiaca. Diagramma delle biforcazioni per il neurone Accoppiamento tra oscillatori neuronali Variabilità dei segnali nei sistemi biologici Dinamica dei leucociti. Influenza dei ritardi finiti nei meccanismi di regolazione. Controlli delle funzioni cardiovascolari. Oscillazioni complesse nella circolazione periferica. L'equazione di Malthus. Crescita logistica. Modello di due specie in competizione. Modelli di interazione preda-predatore. Le equazioni di Lotka-Volterra.

**BIOINGEGNERIA L**  
**BIOINGEGNERIA LS**

**CE, cds: clb**  
**BO, cds: L**

Docente: **Gianni Gnudi** prof. straord.

### **Finalità**

Il corso si propone di introdurre gli studenti alle problematiche dell'ingegneria biomedica e di fornire le conoscenze di base per lo studio ingegneristico di alcuni importanti sistemi dell'organismo umano e della loro interazione con apparati artificiali di misura e terapia.

### **Programma**

1. *L'ingegneria biomedica.* Definizione e finalità, figure professionali e relativa terminologia internazionale. Confronto fra sistemi biologici e sistemi artificiali dal punto di vista ingegneristico.

2. *Modelli matematici a compartimenti.* Definizione di compartimento. Descrizione della cinetica di sostanze mediante scambi fra compartimenti. Elementi di progetto degli esperimenti ingresso-uscita: identificazione parametrica e concetto di identificabilità.

3. *Sistema cardiocircolatorio.* Elementi di emodinamica: richiami di fluidodinamica, flusso ematico pulsatile nei vasi sanguigni e relativa analogia elettrica, impedenza vascolare, analisi fenomenologica del flusso nei vasi collassabili, il modello windkessel. Il sistema cardiovascolare come circuito chiuso: il modello di Guyton. Metodi di misura di grandezze e parametri che caratterizzano la circolazione sanguigna. Introduzione ai sistemi di assistenza circolatoria.

4. *Sistema respiratorio.* Modelli della meccanica respiratoria. Apparecchiature per la ventilazione artificiale.

Il corso è integrato da esercitazioni in aula e nel laboratorio di Ingegneria Biomedica.

### **Testi consigliati**

Dispense redatte dal docente.

Modalità di svolgimento dell'esame  
Scritto e orale

Scopo dell'insegnamento è quello di fornire gli strumenti conoscitivi e metodologici di base per l'analisi e la sintesi del movimento umano. A tal fine si presenteranno in una visione integrata gli aspetti biomeccanici e neurofisiologici del controllo motorio e si forniranno le basi per un approccio bioingegneristico alla misura ed alla simulazione di atti motori di diversa complessità. Particolare attenzione sarà dedicata alle ricadute applicative delle tecniche proposte, in ambiti quali la clinica ortopedica e neurologica, la riabilitazione, la medicina sportiva e la realtà virtuale.

### *Programma*

1. Il sistema di controllo posturale e motorio e le sue componenti. Anatomia e funzione del sistema muscolo-scheletrico. Componenti principali: ossa e cartilagine, muscolo, tendini, legamenti, articolazioni. Anatomia e funzione del sistema neuro-sensoriale. Componenti principali: recettori sensoriali, neuroni, centri motori spinali e soprastatali. Degenerazioni acute e croniche del sistema di controllo posturale e motorio.

2. Analisi del movimento umano: definizione ed ambiti applicativi. Obiettivi ed evoluzione storica. Modellistica del sistema muscolo-scheletrico. Schema funzionale a blocchi. Il sistema di leve. Il diagramma del corpo libero. Cinematica del corpo rigido. Dal punto materiale al corpo rigido. Ricostruzione della cinematica dei segmenti corporei a partire da marcatori cutanei. Protocolli di acquisizione della cinematica dei segmenti corporei, CAST. Cinematica articolare. Artefatti e loro propagazione. Dinamica del corpo rigido. Leggi della statica e della dinamica applicate ai corpi rigidi. Proprietà inerziali dei segmenti corporei e dell'intero corpo. Forze attive e reazioni vincolari: teoria della trave. Stima delle forze articolari e muscolari in condizioni statiche. Dinamica dei segmenti corporei. Problema dinamico inverso. L'analisi del cammino.

3. Sintesi del movimento umano: definizione ed ambiti applicativi. Problema dinamico diretto. Equazioni del moto: metodi diretti ed indiretti. Tecniche di simulazione numerica. Validazione sperimentale.

### *Esercitazioni*

L'insegnamento è fortemente integrato con attività di laboratorio, volte a favorire la capacità dello studente di definire e risolvere autonomamente concreti problemi di analisi e sintesi del movimento. In quest'ambito, con diretto riferimento ai sistemi di misura presenti nel laboratorio, saranno presentate le principali tecniche strumentali per la cinematica, la dinamica e la misura dell'attività muscolare. Esercitazioni al computer consentiranno di analizzare e simulare diversi atti motori. L'attività di laboratorio, condotta in piccoli gruppi, sarà documentata da una tesina finale che gli studenti presenteranno in sede d'esame.

*Esame:* prova scritta intermedia, esame orale finale.

### *Testi consigliati*

- ROGER M. ENOKA, *Neuromechanics of Human Movement*, Human Kinetics, 3rd ed., 2002.  
 VLADIMIR M. ZATSIORSKY, *Kinematics of Human Motion*, Human Kinetics, 1998.  
 VLADIMIR M. ZATSIORSKY, *Kinetics of Human Motion*, Human Kinetics, 2002.



**BIOMECCANICA BS****CE, cds: clb**Docente: **Angelo Cappello** prof. straordinario.

Scopo dell'insegnamento è quello di fornire una visione unificante dei fenomeni biomeccanici nel sistema muscolo-scheletrico. Evidenziati i limiti dell'ipotesi di rigidità, viene introdotta la meccanica dei mezzi continui deformabili secondo un formalismo semplificato che fa ampio uso del calcolo matriciale. Vengono così introdotte le nozioni di base per l'analisi delle proprietà meccaniche dei tessuti biologici.

Partendo dall'analisi delle modalità di comportamento di classi di materiali (equazioni costitutive) e utilizzando le equazioni di conservazione per i mezzi continui, lo studente è posto in condizione di scrivere le equazioni di campo che sono alla base della modellazione dei sistemi biomeccanici. Particolare enfasi è data alle applicazioni ortopediche, dalla progettazione di protesi articolari alla simulazione della loro interazione col sistema muscolo-scheletrico.

Attraverso semplici esempi viene infine illustrata l'applicazione di queste conoscenze al progetto ingegneristico di apparecchiature diagnostiche e terapeutiche.

**Programma**

1. *Meccanica dei mezzi continui per lo studio di materiali e sistemi biologici.* Tensione, spostamento e deformazione. Equazioni costitutive: solido elastico lineare. Bilancio di materia ed energia nei mezzi continui. Equazione di Navier.

2. *Biomeccanica dei tessuti passivi.* I biomateriali. Caratteristiche di comportamento: elasticità non lineare, plasticità, viscoelasticità. Rilassamento, creep ed isteresi. Analisi alle piccole deformazioni: viscoelasticità lineare. Modelli di Maxwell e Voigt. Solido lineare standard. Modello di Boltzmann. Applicazioni: tendini e legamenti.

3. *Biomeccanica dei tessuti contrattili.* Il muscolo scheletrico: struttura e proprietà meccaniche. Modelli fisico-matematici: relazione forza-lunghezza-velocità di accorciamento. Integrazione con la dinamica del movimento. L'elettromiogramma (EMG).

4. *Biomeccanica ortopedica.* Biomateriali in ortopedia: cartilagine, osso, materiali protesici. Tecniche computazionali: modelli agli elementi finiti per il calcolo numerico dei campi di tensione, deformazione e spostamento. Il laboratorio di Tecnologia dei Materiali: misure su materiali e componenti. Le protesi d'anca, di ginocchio e di tibio-tarsica. Applicazioni: progettazione di protesi su misura, pianificazione pre-operatoria, valutazione del rischio di frattura, valutazione intraoperatoria della stabilità di impianti protesici.

**Esercitazioni**

L'insegnamento è integrato da esercitazioni di laboratorio volte a favorire la capacità di definire e risolvere concreti problemi di biomeccanica. Esercitazioni al computer consentiranno di progettare e simulare esperimenti in modo realistico. Questi verranno successivamente realizzati nel laboratorio di Ingegneria Biomedica per dare risposte a quesiti clinici in ambito ortopedico e riabilitativo. Lo svolgimento di tesine consentirà a gruppi di studenti di approfondire alcuni aspetti del corso.

**Esame:** Prova scritta intermedia, esame orale finale.

**Testi consigliati**

Y.C. FUNG, *A first course in continuum mechanics*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.

Y.C. FUNG, *Biomechanics: mechanical properties of living tissues*, Springer-Verlag, New York, 1993.

## **CALCOLATORI ELETTRONICI LA**

**BO, cds: I**

Docente: **Giovanni Neri** prof. ord.

Evoluzione tecnologica dei calcolatori - Moderne metodologie di progetto - Correlazione con le tecnologie VLSI.

Organizzazione gerarchica dei calcolatori - Livelli e relazioni - Architetture e linguaggi - Compilazioni e interpretazione.

Linguaggio macchina - Linguaggio assemblativo - Formato delle istruzioni - Metodi di indirizzamento - Strutture di dati.

Tipi di istruzioni - Istruzione di trasferimento, rotazione, booleane, aritmetiche, reali e di gestione degli indirizzi - Istruzioni di modifica del controllo, salto e subroutines.

Microprogrammazione - Microarchitettura - Decodifica delle istruzioni - Unità di controllo - Unità logica e aritmetica.

Architettura di una CPU - Registri - Temporizzazione - Segnali di comunicazione con il mondo esterno.

Controlli periferici intelligenti - Timer - UART - Controllore parallelo.

Interruzioni e applicazioni - Controlli di interruzione - DMA - Controllore di DMA.

Analisi di un progetto reale di sistema a microprocessore - Coprocessore matematico.

Microprocessori avanzati - Rilocazione dinamica - Memoria virtuale - Impaginazione della memoria - Protezione - Memorie cache - Analisi dell'efficienza delle memorie cache - Analisi di un processore con architettura segmentata e impaginata.

Multiprocessing - Architetture ad alto parallelismo - Array processors - Macchine SIMD e MIMD - Cenni sulle macchine data-flow.

*Testo consigliato:*

M. DE BLASI, *Sistemi per l'elaborazione dell'informazione. Architettura dei calcolatori*, ed. Laterza.

*Esame:* scritto e orale.

## **CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE NUMERICA**

**BO, cds: C**

Docente: **Fiorella Sgallari** prof. straord.

### **Scopo del corso**

L'Insegnamento si articolerà in due parti:

1. Nella prima parte si forniranno le nozioni e gli strumenti necessari per la soluzione di problemi numerici.

2. Nella seconda parte verranno realizzati a calcolatore progetti riguardanti problemi classici e nuovi dell'Ingegneria Civile e più in generale della matematica applicata (calcolo strutturale, idraulica, trasporti, CAD, etc.). Allo scopo saranno utilizzati pacchetti di software numerico nei linguaggi C, FORTRAN e MATLAB.

A completamento delle conoscenze di programmazione saranno organizzati, se richiesti, opportuni seminari.

### **Programma**

#### **- Sistemi di equazioni lineari**

Metodi diretti: fattorizzazione LU e QR di una matrice. Algoritmi di base (Gauss, Cholesky). Metodi iterativi. Algoritmi di base (Jacobi, Gauss-Seidel, SOR). Metodi per sistemi di grandi dimensioni (metodo del gradiente coniugato, metodi di Krylov). Cenni al preconditionamento. Problema lineare dei minimi quadrati.

#### **- Autovalori ed autovettori**

Localizzazione degli autovalori. Condizionamento. Metodo delle potenze e delle potenze inverse e varianti. Metodi per similitudine: Jacobi, Givens, Householder. Metodo QR e varianti.

#### **- Equazioni e sistemi non lineari**

Generalità. Metodi per equazioni non lineari: metodo delle tangenti o di Newton e sue varianti, metodo delle corde, delle secanti e di bisezione. Metodi per sistemi non lineari: metodo di Newton-Raphson.

#### **- Interpolazione ed approssimazione**

Interpolazione polinomiale, formula di Lagrange e di Newton, differenze divise. Differenze finite. Interpolazione con funzioni polinomiali a tratti: funzioni splines. Approssimazione ai minimi quadrati.

#### **- Derivazione ed integrazione**

Generalità. Formule di quadratura interpolatorie. Formule di Newton-Cotes. Formule composite. Formule Gaussiane. Derivazione numerica.

#### **- Equazioni differenziali ordinarie**

Problemi di valori iniziali. Metodi ad un passo e a più passi. Metodi di Runge-Kutta. Metodi di tipo Adams. Problemi con condizioni ai limiti. Problemi stiff. Analisi dell'errore. Stabilità.

#### **- Equazioni a derivate parziali**

Alcune idee di base: approssimazione numerica, alcuni tipi importanti di equazioni alle derivate parziali, tipi di equazioni e caratteristiche. Metodi alle differenze finite. Convergenza e stabilità. Principi variazionali. Nozione di soluzione debole. Elementi finiti. Problemi ellittici. Problemi parabolici.

### **Laboratorio**

Per ogni argomento trattato verranno organizzate esercitazioni in laboratorio e risolti problemi classici dell'ingegneria civile e/o nuovi problemi suggeriti da Studenti o Docenti del Corso di Laurea.

### **Materiale didattico**

Introduzione a MATLAB e richiami sulle matrici (disponibile nella pagina web docente).

Lucidi del corso, esercizi di laboratorio con soluzioni a richiesta. Verranno, inoltre, consigliati testi specifici.

### **Valutazione**

L'esame consiste in una prova orale o nella realizzazione e discussione di un progetto di laboratorio.

**CALCOLO NUMERICO LA**

BO, cds: L, T, I

Docente: **Fiorella Sgallari** prof. straord.**Scopo del corso**

Il corso si propone di fornire le nozioni e gli strumenti di calcolo necessari per la soluzione di semplici problemi dell'ingegneria. Il corso prevede un'attività di laboratorio che ne costituisce parte integrante in cui si utilizzerà il software MATLAB.

**Programma del corso**

- Numeri finiti, errori di arrotondamento, condizionamento di un problema, stabilità numerica.
- Introduzione all'ambiente MATLAB.
- Equazioni lineari. Metodi diretti: Fattorizzazione LU di una matrice, il metodo di eliminazione di Gauss, strategie di pivoting, algoritmo di Cholesky. Metodi iterativi: Metodo di Jacobi, Gauss-Seidel, SOR. Matrici malcondizionate.
- Equazioni e sistemi non lineari. Metodo di bisezione, metodo di Newton, metodo delle corde, metodo di regula falsi.
- Autovalori e autovettori. Algoritmo QR. Metodo delle potenze e potenze inverse.
- Equazioni differenziali ordinarie: Metodi ad un passo e più passi: metodo di Eulero, Runge-Kutta e Adams. Equazioni stiff.

**Valutazione**

L'esame consiste nella realizzazione e discussione di un progetto di laboratorio.

**Testi di riferimento**

G. MONEGATO, *Fondamenti di Calcolo Numerico*, Ed. CLUT, 1998.

R. BEVILACQUA, D. BINI, M. CAPOVANI, O. MENCHI, *Introduzione alla matematica computazionale*, Zanichelli, Bologna, 1987.

**Dispense**

Introduzione a MATLAB e richiami sulle matrici. (disponibile nella pagina web del docente).  
Lucidi del corso, esercizi di laboratorio con soluzioni e esempi di progetti svolti a richiesta.

**CALCOLO NUMERICO LA**

CE, cds: dui, dul

Docente: **Fabiana Zama** ric.**Argomenti del corso**

- Sorgenti di Errore nei modelli computazionali.
- Risoluzione di Equazioni non Lineari
- Approssimazione di funzioni e dati: Interpolazione polinomiale e trigonometrica. Funzioni Spline.
- Risoluzione di sistemi lineari: Metodi diretti ed Iterativi

Discussione degli aspetti algoritmici ed implementativi mediante esempi in linguaggio MATLAB.

**Bibliografia**

- A. QUARTERONI F. SALERI, *Introduzione al Calcolo Scientifico*, Springer, 2001.  
 V. COMINCIOLI, *Analisi numerica*, McGraw-Hill, 1990.

**CAMPI ELETTROMAGNETICI LA**

BO, cds: L, T

Docente: Alessandro Lipparini prof. straord.

**Finalità**

Il Corso si colloca a valle di quello di Propagazione ed è orientato allo studio dei principi di base della propagazione elettromagnetica guidata, alla presentazione dei diversi mezzi trasmissivi utilizzati nella tecnica delle comunicazioni elettriche e ad una specifica trattazione delle strutture TEM e delle fibre ottiche. Infine viene affrontato in dettaglio un esempio di sistema di trasmissione. Lo scopo finale è di fornire un'introduzione alla trasmissione di segnali su portante fisico e alle relative problematiche.

**Programma dell'insegnamento**

Strutture cilindriche e loro modi. Modi TEM. Modi TM e TE di strutture omogenee chiuse e aperte. Cenni sul problema dell'eccitazione di una guida e sulle discontinuità. Modi ibridi di strutture non omogenee chiuse e aperte. Distorsione dei segnali nella trasmissione su portante fisico. Cenni sui principali mezzi trasmissivi utilizzati nella tecnica.

Descrizione circuitale della propagazione TEM: definizione di tensione e corrente, modello capacitivo. Equazioni dei telegrafisti. Circuito equivalente. Reti elettriche ad n porte. Matrici circuitali. Linee di trasmissione ordinarie e grandezze caratteristiche. Carta di Smith. Adattamento.

Fibre ottiche. Principi di funzionamento. Modi LP. Caratteristiche della propagazione. Dispersione e banda passante. Fibre monomodali e multimodali. Proprietà.

Esempio di un sistema trasmissivo: sistema in fibra ottica. Sorgenti: caratteristiche fondamentali, principi di funzionamento. LED e LASER. Tecniche di modulazione. Rivelatori: principi di funzionamento, proprietà. PIN e APD. Ricevitori. Dimensionamento di un sistema. Ripetitori elettronici ed amplificatori ottici. Budget di potenza di un collegamento.

Il Corso è integrato da esercitazioni e tutorato.

**Testi consigliati:**

- V. RIZZOLI, A. LIPPARINI, *Propagazione elettromagnetica guidata*, Ed. Esculapio, Progetto Leonardo, Bologna.  
 P. BASSI, G. BELLANCA, G. TARTARINI, *Propagazione ottica libera e guidata*, Ed. CLUEB, Bologna.  
 P. BASSI, G. BELLANCA, G. TARTARINI, *Componenti e circuiti ottici*, Ed. CLUEB, Bologna.

**Esame:** consiste in una prova orale

**Propedeuticità consigliate:** Propagazione

**CAMPI ELETTROMAGNETICI LA**

CE, cds: dut, dul

Docente: Giovanni Tartarini ric.

**Teoria****1. Proprietà fondamentali dei Campi Elettromagnetici**

In questa prima parte del corso si effettua uno studio dei campi elettromagnetici attraverso i diversi modelli matematici che ne descrivono le proprietà.

**Ottica geometrica**

Equazioni fondamentali. Principio di Fermat.

Legge della riflessione e legge di Snell.

Cenni ad alcune caratteristiche delle fibre multimodali.

Applicazioni nel campo delle radiofrequenze e delle frequenze ottiche:

Propagazione Ionosferica, Dispersione Intenodale.

**Ottica Ondulatoria**

Soluzione dell'equazione delle onde.

Onde piane e loro classificazione.

Riflessione e trasmissione di onde piane. Angolo di Brewster.

Caratteristiche dielettriche dei materiali. Equazione di Sellmeier.

Diffrazione e dispersione in mezzi omogenei.

Propagazione di un pacchetto d'onda.

Integrali di Fresnel e di Fraunhofer.

Cenni al funzionamento dei reticoli.

Applicazioni.

**Ottica Elettromagnetica**

Il concetto di modo.

Modi di strutture cilindriche. Risoluzione della lastra piana dielettrica.

Fibre ottiche - Principi di funzionamento.

Equazioni risolventi.

Soluzione approssimata - Modi LP.

Caratteristiche della propagazione.

**2. Componenti e dispositivi di telecomunicazioni a frequenze ottiche**

Il canale di trasmissione: la fibra ottica

Caratterizzazione delle fibre ottiche.

Attenuazione - Metodi di misura dell'attenuazione.

Apertura numerica.

Dispersione e banda passante.

Effetti non lineari.

Fibre monomodali e multimodali - Proprietà.

Fibre a salto d'indice e a profilo d'indice graduale.

Tecnologie di fabbricazione delle fibre ottiche - Generalità.

Cavi per i sistemi in fibra ottica - Generalità.

**Le sorgenti per i sistemi in fibra ottica**

Caratteristiche fondamentali.

Principi di funzionamento.

LED e LASER.

Tecniche di modulazione.

Codici NRZ, RZ, Manchester. Proprietà.

Tecniche di multiploazione (FDM, TDM, WDM).

### **I ricevitori per i sistemi in fibra ottica**

Rivelatori. Generalità e principi di funzionamento.

PIN e APD - Caratteristiche fondamentali e proprietà.

Il problema del rumore nei rivelatori.

Ricevitori a rivelazione diretta.

Circuiti di ricezione. Caratteristiche fondamentali.

Caratterizzazione del rumore in un ricevitore per sistemi in fibra.

Calcolo della probabilità di errore.

Ricevitori per sistemi coerenti.

### **Componenti e dispositivi**

Connettori. Perdite intrinseche e perdite estrinseche.

Accoppiatori. Grandezze caratteristiche.

Modulatori.

Dispositivi per WDM.

Stadi '3R'.

Amplificatori ottici. Caratteristiche di funzionamento.

### **3. Progetto di un sistema di telecomunicazioni in fibra ottica**

Sistemi limitati in banda, in tempo di salita ed in attenuazione.

Utilizzo di ripetitori elettronici e di amplificatori ottici

Budget di potenza di un collegamento.

#### **Laboratorio**

Ottica Geometrica:

Simulazione di fibre multimodali (Software 'Optica')

Ottica Ondulatoria:

Diffrazione di campi in mezzo omogeneo (Software 'Propaga')  
Riflessione e trasmissione di onde piane (Software 'Rho')

Ottica Elettromagnetica:

Modi di una lastra piana (Software 'Slab')

Modi di una fibra ottica (Software 'Optica')

Seconda parte del corso:

Modellizzazione di componenti e sistemi di varia complessità tramite il software professionale 'OptSim'

Dimostrazione e misura di alcune proprietà delle fibre tramite il kit didattico 'Educo-Optic'

#### *Testi e materiale didattico di supporto*

Dispense a cura del docente.

P. BASSI, G. BELLANCA, G. TARTARINI, *Propagazione Ottica Libera e Guidata*, CLUEB, Bologna, 1999.

P. BASSI, G. BELLANCA, G. TARTARINI, *Componenti e Circuiti Ottici*, CLUEB, Bologna, 1999.

R. J. HOSS, E. A. LACY, *Fiber Optics*, Prentice Hall.

P. E. GREEN, *Fiber Optics Networks*, Prentice Hall.

### **CAMPI ELETTROMAGNETICI LB**

**BO, cds: T, L**

Docente: **Vittorio Rizzoli** prof. ord.

#### *Obiettivo formativo dell'insegnamento*

Il Corso si propone di sviluppare una solida comprensione di carattere scientifico-metodologico dei complessi fenomeni che stanno alla base della propagazione elettromagnetica guidata, e

di applicarla allo studio dei mezzi trasmissivi utilizzati nei sistemi di telecomunicazione su portante fisico e nei circuiti integrati per alte frequenze.

### *Programma del corso*

Concetto di guida d'onda e di modo, completezza e ortogonalità degli insiemi di modi. Modi guidati e radianti e loro eccitazione; discontinuità. Discretizzazione degli insiemi di modi nelle strutture chiuse; fenomeno dell'irraggiamento nelle strutture aperte. Modi ibridi guidati nelle strutture non omogenee chiuse e aperte. Guide con conduttori imperfetti e analisi perturbativa delle perdite. Applicazioni: linee di trasmissione, guide d'onda metalliche, fibre ottiche.

Distorsione dei segnali nella trasmissione su portante fisico. Condizioni di non distorsione. Velocità di gruppo. Applicazione alle linee di trasmissione con perdite. Equalizzazione. Propagazione unimodale e multimodale.

Linee di trasmissione multifilari in dielettrico omogeneo e non omogeneo. Modi TEM e quasi-TEM e loro descrizione circuitale. Calcolo dei parametri circuitali primari. Equazioni dei telegrafisti e circuito equivalente. Regime d'onda puramente progressiva e concetto di adattamento. Ortogonalità dei modi. Linee simmetriche a due conduttori più massa. Scambio di potenza tra i conduttori del sistema.

Definizione elettromagnetica di rete elettrica multiporta. Porte fisiche ed elettriche, relazioni tra porte elettriche e modi delle guide afferenti. Matrice di diffusione e sue proprietà. Interconnessione di reti multiporta, livello di impedenza di un sistema. Reti TEM, giustificazione rigorosa della teoria circuitale nell'ambito della teoria elettromagnetica e studio delle sue limitazioni. Matrici impedenza e ammettenza di reti TEM multiporta. Teoremi di Thévenin e di Norton. Casi del due-porte (quadripolo) e del monoporta (bipolo).

### *Testi consigliati:*

VITTORIO RIZZOLI e ALESSANDRO LIPPARINI, *Propagazione elettromagnetica guidata*. Esculapio-Progetto Leonardo.

### *Testi di consultazione:*

PAOLO BASSI, *Appunti di propagazione in guida dielettrica*, CLUEB.

ROBERT E. COLLIN, *Field theory of guided waves*, IEEE Press.

## **CANTIERI E PRODUZIONE EDILIZIA L**

CE, cds: dud

Docente: **Marco Alvise Bragadin** prof. inc.

Il Corso si propone di fornire le conoscenze necessarie per intraprendere la fase di produzione di un'opera edile, nonché l'impostazione del cantiere ed il suo controllo tecnico, organizzativo, economico e temporale, attraverso l'ottimizzazione delle scelte operative e nel rispetto delle normative vigenti ed, in particolare, di quelle di sicurezza.

### **1. Argomenti del Corso**

Le problematiche della produzione edilizia vengono affrontate con un metodo sistemico, che ricomponde le fasi di settorializzazione (ideazione, progettazione, produzione, controllo e collaudo) mediante procedure per la ricerca della configurazione ottimale del processo di produzione edilizia.



In particolare, gli argomenti del Corso riguardano:

1. Il processo edilizio: le fasi, gli operatori e i reciproci tipi di rapporto;
2. L'affidamento dei lavori: tipi di appalto, documenti abilitativi per intraprendere un'opera ed elaborati di cantiere, il piano operativo della sicurezza;
3. La pianificazione operativa: programmazione e organizzazione di un cantiere, la gestione operativa, risorse e mezzi;
4. La produzione in cantiere: le tecniche di esecuzione e le tecnologie di produzione di sottosistemi (chiusure, orizzontamenti, coperture), i sistemi costruttivi tradizionali ed industrializzati, le tolleranze di produzione, le normative riguardanti i cantieri con particolare riguardo alla sicurezza nell'esecuzione dei lavori in opera;
5. La logistica nel cantiere: layout di trasporti e stoccaggio materiali, macchine e attrezzature fisse di cantiere;
6. La qualità del costruito: parziale e totale, di processo, di prodotto e dell'opera, normative di certificazione e omologazione dei prodotti;
7. L'economia nel cantiere: la gestione della commessa, dissesto economico o successo imprenditoriale, documenti e tecniche per il controllo economico ed amministrativo del cantiere e della commessa;
8. I collaudi: le garanzie di corretta esecuzione, le verifiche delle prestazioni fornite, i collaudi amministrativi, tecnici e funzionali intermedi e finali;
9. Gli interventi dopo la fine lavori: i ripristini, la manutenzione e la gestione prima della presa in carico da parte della committenza.

## 2. Modalità di svolgimento delle attività formative

Il Corso si articola su un ciclo di 120 ore di lezioni frontali sugli argomenti teorici e su impostazioni metodologiche, integrate da 40 ore di esercitazioni pratiche, nelle quali gli studenti applicano le metodologie illustrate nelle lezioni frontali, e da 10 ore applicazioni in laboratorio per l'elaborazione di relazioni di ricerca applicata nelle esercitazioni.

## 3. Esami e verifiche di profitto

Gli elaborati realizzati durante l'esercitazione risultano parte integrante dell'esame finale, ma vengono valutati anticipatamente a conclusione della esercitazione stessa.

L'esame di profitto finale si basa sulla verifica orale della capacità dell'esaminando di motivare le scelte operative relative a tecniche, tecnologie edilizie e relativi criteri di sicurezza, riferite ad un organismo edilizio scelto come campione per l'esame individuale.

## CARTOGRAFIA TEMATICA E AUTOMATICA

CE, cds: dud

Docente: **Maurizio Barbarella** prof. ord.

### Programma

**Cartografia generale disponibile** La proiezione conforme di Gauss. Il Sistema cartografico Nazionale: impianto, vecchia e nuova serie. Taglio cartografico. Sistema UTM-UPS. Cartografia Tecnica Regionale. Lettura coordinate presenti negli elementi cartografici. Prodotti commercializzati da IGM e dalla Regione Emilia Romagna.

**Reti geodetiche.** Rete trigonometrica. Rete altimetrica. Rete fondamentale GPS. Reti GPS di raffittimento. Rete altimetrica. Modelli di ondulazione del geoide.

**Cartografia Numerica** Cartografia Numerica a grande scala: processo di produzione e controllo. Capitolati per Cartografia Numerica. Controllo di qualità ed operazioni di collaudonelle

varie fasi (volo, inquadramento, T.A., restituzione, ricognizione, editing). Banca Dati associata **Cartografia raster e ortocarte**. Uso di immagini raddrizzate e ortofoto all'interno di un SIT. Immagini satellitari ad alta risoluzione.

**Basi di dati topografici e Cartografia Numerica**. Banche dati. Metodi di organizzazione dei dati. Tecniche di strutturazione ed analisi dei dati.

**Sistemi Informativi Territoriali SIT e BD**. "Scala" e caratteristiche generali dei GIS. I principali software GIS. Impieghi. Applicazioni: geologia, Piani Regolatori. Il SIT regionale [*Contributo di un Esperto*]

**Laboratorio**: Esempi di impiego di un software semplice ad alta diffusione.

## CAVE E RECUPERO AMBIENTALE

BO, cds: R

Docente: **Paolo Berry** prof. ord.

L'Insegnamento fornisce i principi fondamentali per la progettazione, la gestione ed il controllo delle attività estrattive di minerali di 2ª categoria alla luce dei principi e di tutela della sicurezza e di rispetto dell'ambiente. Sono forniti i criteri economici, finanziari e di mercato. Gli aspetti fondamentali della progettazione, della gestione e del controllo sono affrontati mettendo in rilievo, con esempi ed applicazioni pratiche, l'importanza delle procedure di pianificazione, organizzazione e gestione dei processi e delle azioni elementari. Particolare attenzione viene rivolta ai metodi estrattivi ed alle tecniche di abbattimento (abbattimento meccanico, con esplosivi, ecc.), ai metodi per la valutazione della stabilità degli scavi minerari. Sono trattati gli aspetti relativi alla pianificazione delle attività estrattive ed i processi di valutazione ambientale e di ripristino delle cave esaurite. Sono descritte le cave per produzione di minerali industriali, di inerti di varia dimensione (granulati, blocchi, ecc.) e le cave di pietre ornamentali.

### Programma

● Cenni sui giacimenti di minerali di seconda categoria e di rocce ornamentali. Caratterizzazione dei prodotti oggetto di estrazione. Normazione della qualità dei materiali. Fattori che condizionano l'attività di scavo. Parametri geomeccanici e strutturali.

● Metodi di coltivazione. Progetto di coltivazione alla luce dei principi di tutela della salute e sicurezza dei lavoratori e del rispetto delle componenti ambientali. Aspetti economici. Disegno dello scavo. Articolazione funzionale degli spazi operativi. Impianti e servizi vari. Metodi di coltivazione. Ottimizzazione tecnico-economica. Aspetti normativi e legislativi. Recupero delle aree dismesse e gestione degli sterili a sfaldi di lavorazione.

● Criteri di scelta progettuali per l'abbattimento con esplosivo. Taglio al monte nelle cave di roccia ornamentale. Abbattimento per prodotti informi. Profilature ed abbattimenti in prossimità di edifici e strutture da salvaguardare. Macchine e sistemi di perforazione. Tecniche di produzione con scavo meccanizzato. Impianti a filo diamantato, segatrice a catena dentata, cinghia diamantata, dischi. Disgregazione termica delle rocce dure. Prospettive di applicazione di tecnologie innovative. Fondamenti sperimentali e risultati industriali.

● Movimentazione dei blocchi. Segazione, processi di trattamento delle rocce ornamentali. Tecniche di taglio in lastre. Operazioni di finitura e trattamento delle superfici. Lavorazioni speciali. Criteri di scelta e problemi gestionali.

● Scavi di profilatura in roccia; scavi per fondazioni, consolidamenti; movimenti di terra per sistemazione di scarpate; bacini di contenimento degli sterili.

● Procedure di valutazione dell'impatto ambientale.

**Principi di pianificazione dell'attività estrattiva.**

**Metodi di ricomposizione ambientale.**

**Esercitazioni ed esame:** Le esercitazioni consistono nell'analisi dei temi sviluppati a lezione. L'esame consiste in un colloquio nel quale viene valutata la preparazione dello studente anche attraverso la presentazione del lavoro svolto durante il tirocinio pratico e/o di un progetto sviluppato dallo studente individualmente.

*Testi su cui si basano le lezioni*

W. HUSTRULID, M. KUCHTA, *Open Pit Mine Planning and Design.*

AUTORI VARI, *Manual de Rocas Ornamentales.*

PER-ANDERS PERSSON, R. HOLMBERG, J. LEE, *Rock Blasting and Explosives Engineering.*

*Articoli tecnici e scientifici specialistici*

*Appunti redatti dal docente*

**Tesi di laurea:** Sono prevalentemente a carattere applicativo.

## **CAVE E RECUPERO AMBIENTALE**

**BO, cds: duamb**

**Docente: Sante Fabbri prof. ass.**

**Problematiche generali.** Estrazione di minerali di seconda categoria (inerti, pietre ornamentali) ed escavazioni a giorno per l'ingegneria civile. Studio dell'impatto ambientale: misure preventive e misure protettive.

**I materiali oggetto dell'attività di cava.** Individuazione delle formazioni economicamente sfruttabili. Metodologie di indagine. Tendenze e prospettive di sviluppo. Caratterizzazione fisica, chimica, meccanica, tecnologica e merceologica delle pietre ornamentali. Fattori che condizionano l'attività di scavo.

**Classificazione e definizione delle cave per inerti e per blocchi di pietre ornamentali.** Progetto di coltivazione; organizzazione del lavoro; aspetti economici. Tipologie. Disegno dello scavo. Tipologie di riferimento. Articolazione funzionale degli spazi operativi: fronti, piazzali, piste e rampe, centri di accumulo e ripresa. Impianti e servizi vari. Iniziative a spazio consortile. Metodi di coltivazione. Attacco del fronte con riguardo alle caratteristiche strutturali della roccia ed ai motivi economici ed ecologico-ambientali. Ottimizzazione tecnico-economica. Aspetti normativi e legislativi. Recupero delle aree dismesse e gestione degli sterili e sfridi di lavorazione.

**Tecnologie di abbattimento.** Abbattimento con esplosivo. Dimensionamento della volata. Macchine e sistemi di perforazione. Criteri di scelta progettuali. Impiego degli esplosivi per profilature ed abbattimenti in prossimità di edifici e strutture da salvaguardare. Tecniche di pretaglio. Escavazione di materiali sciolti e di rocce fratturate o poco coesive. Tecniche di produzione per scavo meccanizzato. Preminaggio. Scarificazione con dente. Spinta e accumulo con trattori a lama radente. Scavo continuo con escavatori a catena o ruota di tazze o per fresatura. Disgregazione idraulica con getti d'acqua. Coltivazione di formazioni sotto falda. Draghe meccaniche ed idrauliche. Benne raschianti e sospese.

**Tecnologie di taglio.** Cave di pietre ornamentali e da costruzione. Impianti a filo diamantato. Taglio con segatrice a catena dentata o cinghia diamantata. Taglio con dischi. Taglio al monte con miccia detonante o polvere nera in fori ravvicinati. Disgregazione termica con fiamma delle rocce dure. Applicazione di tecnologie innovative: taglio dei blocchi con getti d'acqua ad elevata pressione.

**Attività di trasformazione.** Movimentazione dei blocchi; riquadratura e lavorazione secondaria. Segazione, calibratura, finitura superficiale e taglio a misura delle rocce ornamentali. Telai a filo; telai monolama tradizionali e diamantati; dischi ortogonali; telai multilama a graniglia abrasiva. Operazioni di lucidatura, sfiammatura e bocciardatura. Lavorazioni speciali.

## CHIMICA L

BO, cds: C

Docente: **Maurizio Fiorini** prof. ass.

**La struttura atomica della materia.** La materia: atomi e molecole. Pesì atomici relativi e assoluti; l'unità di massa atomica. La mole ed il numero di Avogadro. La struttura dell'atomo: il modello di Rutherford.

**Il nucleo atomico.** Il numero atomico e il numero di massa; gli isotopi. Nuclidi stabili e radionuclidi; cenni sul decadimento radioattivo e sulle emissioni  $\alpha$ ,  $\beta^-$ .

**La struttura elettronica degli atomi.** La struttura elettronica nello stato fondamentale dei principali elementi. Gli elementi e la moderna classificazione periodica. Le principali proprietà periodiche.

**Il legame chimico.** Il concetto di legame chimico e di energia di legame. I vari tipi di legame chimico. Il legame ionico e l'energia reticolare. Proprietà dei composti ionici. Il legame covalente: legami semplici e legami multipli: legami di tipo  $\sigma$  e di tipo  $\pi$ . Le formule di struttura e il loro significato. Legami polari; molecole polari ed apolari. Il legame metallico: proprietà principali dei solidi metallici; il modello a bande nei solidi. Conduttori, isolanti e semiconduttori. I legami deboli.

**Le reazioni chimiche.** L'equazione stechiometrica e il suo significato; bilanciamento delle equazioni stechiometriche. La nomenclatura IUPAC per i composti inorganici più comuni.

**Gli stati di aggregazione della materia.** Lo stato gassoso: l'equazione di stato dei gas perfetti. Cenni alla teoria cinetica dei gas e alla legge di distribuzione delle velocità molecolari. Cenni ai gas reali.

Lo stato liquido: la pressione di vapore e la temperatura di ebollizione. La solubilità di un gas in un liquido e sua dipendenza da pressione e temperatura. Solubilità di un solido in un liquido. Le soluzioni: i diversi modi di esprimerne la composizione.

Lo stato solido: solidi amorfi e solidi cristallini; il reticolo cristallino e la cella elementare. I sistemi cristallografici e i vari tipi di celle elementari. Le strutture cristalline compatte: EC, CCC, CFC. Le strutture compatte nei solidi metallici e ionici. Allotropia e polimorfismo; isomorfismo. Le caratteristiche principali dei vari tipi di solidi cristallini (metallici, ionici, molecolari, covalenti, a strati e catene).

**Termochimica:** definizione di sistema termodinamico e variabili di stato. Il primo principio: equivalenza tra lavoro e calore; l'energia interna e l'entalpia. Termochimica: le equazioni termochimiche; entalpie standard di reazione, di formazione e di combustione. La legge di Hess e sue applicazioni.

**Soluzioni acquose: gli acidi e le basi:** equilibri ionici in soluzione: l'autoprotolisi dell'acqua. La scala del pH. Acidi e basi secondo Brønsted e Lowry. Forza degli acidi e delle basi. Il calcolo del pH di soluzioni di acidi e basi.

**Equilibri fra fasi diverse:** la regola delle fasi e la sua applicazione in casi semplici. Gli equilibri liquido-vapore, solido-vapore e solido-liquido: interpretazione delle relative curve nel diagramma di stato di un componente puro. I diagrammi di stato dell'acqua e dell'anidride carbonica. Cenni alle proprietà colligative delle soluzioni. Equilibri tra fasi condensate: diagrammi di stato a più componenti.

**Testi consigliati**

R.A. MICHELIN, A. MUNARI, *Fondamenti di Chimica per le Tecnologie* - CEDAM, Padova, I Ed. (2002).

P.W. ATKINS, L. JONES, *Principi di Chimica*, Zanichelli, Bologna (2002).

P. SILVESTRONI, *Fondamenti di Chimica*, Veschi, Milano.

S.S. ZUMDAHL, *Chimica*, Zanichelli, Bologna.

**Per l'autovalutazione e per l'ausilio nella risoluzione degli esercizi:**

R.A. MICHELIN, M. MOZZON, A. MUNARI, *Test ed Esercizi di Chimica* - CEDAM, Padova, II Ed. (1998).

P. MANARESI, E. MARIANUCCI, *Problemi di Chimica per Ingegneria* - Esculapio, Bologna (1997).

Modalità d'esame: prova scritta. Prova orale facoltativa.

Iscrizione nelle liste d'esame predisposte sul sito UNIWEX

**CHIMICA - CHIMICA E MATERIALI L (C.I.)****BO, cds: M****Modulo di CHIMICA**

Docente: **Andrea Munari** prof. straord.

La struttura atomica della materia. Le configurazioni elettroniche degli atomi e la moderna classificazione periodica degli elementi. I vari tipi di legame chimico: legame ionico, covalente e metallico. I legami deboli. L'equazione stechiometrica e il suo significato. La nomenclatura dei composti inorganici ed organici più comuni. Le reazioni di ossidoriduzione e loro bilanciamento. Calcoli stechiometrici.

Lo stato gassoso: l'equazione di stato dei gas perfetti. Le miscele di gas ideali. Cenni al comportamento dei gas reali. La temperatura critica. Lo stato liquido. L'equilibrio liquido-vapore: la pressione di vapore e la temperatura di ebollizione. Le soluzioni ed il modo di esprimerne la composizione. Lo stato solido: il reticolo cristallino ed i diversi tipi di celle elementari. Le caratteristiche dei solidi metallici; cenni ai solidi ionici, molecolari, covalenti. La regola delle fasi ed i diagrammi di stato di una sostanza pura. Principali tipi di diagrammi di stato a due componenti

Termochimica; la legge di Hess. L'equilibrio chimico: le espressioni della costante di equilibrio per sistemi gassosi ideali ed il calcolo della composizione all'equilibrio. Lo spostamento dell'equilibrio.

Equilibri ionici in soluzione. Soluzioni acide, neutre e basiche: il pH di una soluzione.

Fondamenti di Elettrochimica.

**Testi Consigliati:**

R.A. MICHELIN, A. MUNARI, *Fondamenti di chimica per le tecnologie*, I edizione, Cedam, Padova, (2002).

R.A. MICHELIN, M. MOZZON, A. MUNARI, *Test ed esercizi di chimica*, III edizione, Cedam, Padova, (2000)

**Modulo di MATERIALI**

BO, cds: M

Docente: **Paolo Colombo** prof. ass.

Classificazione dei materiali. Struttura dei vari tipi di materiali. Difetti statici di punto, di linea, di superficie e di volume. Trasformazioni di equilibrio e non equilibrio (cristallizzazione, trattamenti termici). Meccanismi di trasporto di materia: diffusione. Relazioni tra microstruttura e proprietà dei materiali. Proprietà meccaniche: deformazione elastica e plastica, incrudimento, processi di frattura. Metodi di prova e normativa. Diagramma di stato Fe-C.

Corrosione dei materiali metallici: corrosione umida e corrosione secca. Protezione.

Combustione e Combustibili convenzionali: studio termodinamico della combustione. Temperatura teorica di combustione, temperatura di fiamma. Caratteristiche dei combustibili naturali ed artificiali. Lubrificanti.

Le acque: proprietà chimiche e fisiche delle acque naturali. Trattamenti per renderle idonee all'impiego in circuiti di raffreddamento o come acque di alimentazione per caldaie

Materiali Polimerici: Materiali termoplastici e termoindurenti e loro proprietà. Vernici ed adesivi.

*Testo consigliato:*

Dispense delle lezioni (a disposizione presso la Biblioteca di Ingegneria)

*Testi per consultazione:*

AA.VV. (a cura di AIMAT), *Manuale dei Materiali per l'Ingegneria*, MacGraw-Hill Libri Italia s.r.l., Milano, 1996.

A. GIRELLI, *Trattato di Chimica Industriale ed Applicata*, Zanichelli.

Modalità di esame: prova scritta.

**CHIMICA APPLICATA L**

BO, cds: Q

Docente: **Andrea Saccani** prof. ass.*Programma*

*Acque* Caratteristiche chimico-fisiche. Sostanze disciolte. Potere incrostante e cor-ro-sivo. Re-quisiti generali delle acque in base al loro utilizzo.

*Combustibili* Classificazione e caratteristiche generali: potere calorifico inferiore e superiore e punto di infiammabilità. Prodotti della distillazione frazionata del petrolio.

Classificazione dei materiali per l'ingegneria: aspetti chimici e tecnologici. Mi-cro-struttura.

*Testi consigliati*

Carattere generale:

G. RINALDI, *Materiali e Chimica Applicata*, Siderea (Roma).

E. MARIANI, *Chimica Applicata e Industriale*, vol 1 e 2, UTET (Torino).

WULFF J., *Struttura e proprietà dei materiali*, Vol 1, Ambrosiana (Milano).

**Combustibili:**C. GIAVARINI, A. GIPELLI, *La raffinazione del petrolio*, ESA (Milano).V. GOTTARDI, *I combustibili*, Patron (Padova).**CHIMICA E TECNOLOGIA DEL RESTAURO  
E DELLA CONSERVAZIONE DEI MATERIALI****BO, cds: D**Docenti: **Franco Sandrolini** prof. ord.**Franzoni Elisa** ric.

Il corso si propone di fornire alla figura professionale dell'ingegnere edile-architetto uno strumento operativo unitario per l'impiego corretto dei materiali negli interventi di restauro e di conservazione delle costruzioni antiche.

**Programma**

Le tecniche diagnostiche (distruttive e non distruttive) per la caratterizzazione dei materiali antichi da costruzione e dei loro prodotti di trasformazione nel tempo. Valutazione dei risultati diagnostici ai fini del restauro e della conservazione dei materiali. Casi ed esperienze. Normativa. (20 ore di lezione e 40 di laboratorio)

I materiali degli edifici storici e l'ambiente. Cenni alla loro evoluzione storica e tecnologica. Classificazione e microstruttura. Inquinanti e meccanismi fisici, chimici e biologici del degrado dei materiali. Ruolo dell'umidità nei processi di degrado. Manutenzione, pulitura delle superfici e principi della conservazione dei materiali antichi nell'architettura. Casi ed esperienze. Normativa.

Materiali e tecnologie per il restauro ed il consolidamento superficiale e strutturale. Valutazione della compatibilità fisica, chimica e biologica dei materiali con lo stato edilizio dei manufatti. Materiali protettivi e consolidanti. Tecnologie di applicazione e criteri di valutazione ai fini dell'intervento di restauro. Compatibilità filologica dei materiali nel restauro (anastilosi ricostruttiva razionale). Normativa. Capitolati e collaudi. (40 ore di lezione e 20 di laboratorio)

Esercitazioni: applicazioni numeriche in aula; complementi al corso.

Laboratorio (60 ore): sperimentazione delle procedure diagnostiche di caratterizzazione in laboratorio o in situ (completate da eventuali visite in cantiere); valutazione dei risultati; prove e controlli sui materiali per restauro; compatibilità ecologica; seminari coordinati all'interno del laboratorio progettuale con altri insegnamenti.

**Esame:** prova orale, preceduta dallo svolgimento di un elaborato tecnico a finalità applicativa assegnato dal docente, la cui valutazione concorre alla valutazione finale orale. Fogli ufficiali per le liste vengono affissi all'albo del Dipartimento di Chimica applicata e Scienza dei materiali il giorno precedente a quello degli appelli.

**Testi consigliati:**G. G. AMOROSO, V. FASSINA, *Stone decay and conservation: atmospheric pollution, cleaning, consolidation and protection*, Elsevier (1983).C. MONTAGNI, *Materiali per il restauro e la manutenzione*, UTET (2000).U. MENICALI, *I materiali dell'edilizia storica*, NIS (1992).

Norme Tecniche NORMAL (altre norme e letteratura vengono segnalate a lezione).

**Propedeuticità consigliate:** Tecnologia dei materiali e chimica applicata.

**Tesi di laurea:** su tutti gli argomenti del corso con finalità applicative e pratiche, anche in collaborazione con altri docenti del CdL.

**CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI**

BO, cds: L

Docente: **Renato Colle** prof. ord.

L'Insegnamento si propone di far acquisire i fondamenti della meccanica quantistica ed elementi di termodinamica statistica, nonché di presentare varie applicazioni di tali discipline a problemi atomici, molecolari e di stato solido.

*Programma***MECCANICA QUANTISTICA**

A) Breve introduzione alla Meccanica quantistica.

B) Principi generali della Meccanica quantistica e formalismo matematico.

Misure, osservabili, spazi dei ket e dei bra, operatori lineari, teoria delle rappresentazioni (matriciale, delle coordinate, degli impulsi e loro relazioni). Postulati della Meccanica quantistica e loro interpretazione fisica. Principio di indeterminazione. Principio di sovrapposizione e sue implicazioni fisiche. Applicazione dei postulati a sistemi a due livelli. Oscillatore armonico: trattazione classica e quantistica, oscillatori armonici accoppiati, calori specifici, fononi, fotoni. Dinamica quantistica: evoluzione temporale, equazione di Schroedinger e sue implicazioni fisiche, rappresentazioni di Heisenberg e di interazione, equazioni del moto e teorema di Ehrenfest, ampiezze di correlazione, teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo. Teoria dell'interazione radiazione-materia.

C) Meccanica quantistica ondulatoria

Equazioni d'onda e interpretazione fisica della funzione d'onda. Teoria dei pacchetti d'onda. Moto di una particella in potenziali modello. Approssimazione semiclassica e limite classico della meccanica quantistica. Introduzione alla teoria delle funzioni di Green.

D) Teoria dei momenti angolari e della simmetria

Rotazioni: trattazione classica e quantistica. Operatori di momento angolare: autovettori, autovalori, formalismo matriciale, composizione di momenti angolari. Lo spin e le interazioni col campo magnetico. Simmetrie: leggi di conservazione, degenerazioni, simmetrie discrete, parità, inversione, traslazioni in un reticolo, permutazioni di particelle identiche.

E) Meccanica quantistica di sistemi atomici e molecolari

Particella in un campo centrale. Sistemi a due particelle: atomi idrogenoidi e molecola biatomica. Principio di esclusione di Pauli, configurazione elettronica e determinante di Slater, atomo di elio. Metodi di approssimazione: teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo e sue applicazioni a effetto Stark e Zeeman, metodo variazionale e metodo di Hartree-Fock, problema della correlazione elettronica. Elementi di teoria degli urti.

F) Applicazioni della meccanica quantistica a problemi di stato solido

Proprietà generali dei solidi. Proprietà geometriche di un cristallo, reticolo diretto e reciproco. Simmetrie puntuali e gruppi puntuali. Strutture cristallografiche. Diffrazione da strutture periodiche. Gas di elettroni liberi. Equazione di Schroedinger nello spazio dei momenti. Teorema di Bloch e condizioni di periodicità. Teoria delle bande elettroniche nei solidi.



## ELEMENTI DI TERMODINAMICA STATISTICA

Stati di un sistema ideale. Entropia e temperatura. Distribuzione di Boltzmann ed energia libera di Helmholtz. Irraggiamento termico e distribuzione di Planck. Potenziale chimico e distribuzione di Gibbs. Gas perfetti. Gas di Fermi e gas di Bose. Calore e lavoro. Energia libera di Gibbs e reazioni chimiche. Trasformazioni di fase. Statistica dei semiconduttori. Teoria cinetica.

*Testi consigliati*

- C. COHEN-TANNOUDJI, B. DIU and F. LALOE, *Quantum Mechanics*, ed. Wiley.  
 J.J. SAKURAI, *Meccanica quantistica moderna*, ed. Zanichelli.  
 G. GROSSO and G. PASTORI PARRAVICINI, *Solid State Physics*, ed. Springer.  
 C. KITTEL and H. KROEMER, *Termodinamica statistica*, ed. Boringhieri.

**CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI**

BO, cds: N

Docente: **Dario Nobili** prof. ass.

L'Insegnamento fornisce gli elementi di Scienza dei Materiali che trattano i problemi di compatibilità, stabilità, proprietà meccaniche e comportamento sotto irraggiamento, applicandoli alle problematiche poste dai reattori nucleari e da nuove tecnologie.

*Argomenti*

- Principali tipologie di reattori nucleari e materiali relativi.
- Effetti termici delle reazioni e dei cambiamenti di stato, con particolare riferimento ai rischi nei sistemi nucleari. Problemi di compatibilità tra materiali. Equilibrio termodinamico. Diagrammi di Ellingham.
- Struttura e difetti nei materiali. Ruolo dei difetti nelle proprietà fisiche e meccaniche.
- Difetti in equilibrio termodinamico.
- Danno da radiazione nei materiali. Meccanismi di danno con neutroni termici o veloci. Il danno con acceleratori di ioni. Alcune applicazioni delle macchine acceleratrici.
- Diffusione. Difetti e meccanismi atomici di diffusione. Determinazione del coefficiente di diffusione. Random walk. Diffusione in presenza di irraggiamento. Diffusione nelle regioni di disordine strutturale. Diffusione e rinvenimento dei difetti e del danno da radiazione. Comportamento dei materiali strutturali sotto irraggiamento. Instabilità dimensionale dei materiali irradiati e parametri che la determinano. Simulazione del fenomeno mediante macchine acceleratrici.
- Modello quasichimico delle leghe. Curve entalpia libera/composizione ed equilibrio tra le fasi. Diagrammi di stato. Proprietà delle nanofasi. Effetto Gibbs-Thomson. Nucleazione nelle transizioni di fase.
- Il diagramma Fe-C e gli acciai. Combustibili nucleari, gli ossidi di Uranio e di Uranio e Plutonio. Comportamento del combustibile dell'irraggiamento. Effetti del burn-up sulla stechiometria del combustibile e sulla sua compatibilità con i materiali di guaina.
- Per tutti gli argomenti trattati sono disponibili appunti corretti.
- L'insegnamento è integrato da visite, presso l'Area di Ricerca del CNR, a macchine acceleratrici di ioni o di elettroni, laser di potenza e microscopi elettronici.

*Tesi di Laurea*

Misure fisiche, o trattamento di materiali, con macchine acceleratrici. Deposizione, mediante ablazione Laser, di film superconduttori monocristallini.

Docente: Carlo Stramigioli prof. ass.

Nell'Insegnamento vengono studiati alcuni processi industriali chimici esemplificativi, di cui vengono esaminati gli aspetti più significativi: chimici, termodinamici, cinetici, costruttivi, impiantistici, economici, ecologici. Tale studio comporta l'impiego delle diverse conoscenze acquisite dallo studente nei corsi fondamentali del piano degli studi in Ingegneria Chimica, nonché di criteri elementari di scelta dei processi di separazione, illustrati nella prima parte dell'insegnamento. Viene anche presentato un quadro generale sulla struttura e le caratteristiche dell'industria chimica in generale e dell'industria chimica italiana in particolare.

*Parte I. Struttura e caratteristiche dell'industria chimica.* Materie prime per l'industria chimica inorganica e organica. Linee di lavorazione. Carbochimica e petrolchimica. Gigantismo, integrazione, localizzazione. Chimica primaria, derivata, secondaria.

*Industria chimica italiana.* Struttura della produzione. *Termodinamica chimica.* Richiami. Attuabilità di una reazione chimica. Lavoro minimo.

*Processi di separazione.* Classificazione. Lavoro di separazione di una miscela. Analisi delle cause di perdita per una colonna di distillazione. Distillazione estrattiva e azeotropica. Adsorbimento. Criteri di scelta.

*Parte II. Gas di sintesi.* Ossidazione parziale di idrocarburi. Reforming con vapore acqueo di metano e idrocarburi liquidi vaporizzabili. Reforming secondario. Conversione del CO. Purificazione (diossido di carbonio, composti solforati, CO residuo): principali procedimenti e processi.

*Sintesi dell'ammoniaca.* Termodinamica della reazione, catalizzatori, reattori. Compressione dei gas, separazione del prodotto. Principali processi. *Acido nitrico.* Ossidi di azoto: dagli elementi per ossidazione di ammoniaca. Ossidazione di NO; dimerizzazione; assorbimento. Processo Montedison a media pressione. Concentrazione dell'acido. Inquinamento da ossidi di azoto.

*Acido solforico.* Arrostitimento piriti; depurazione della corrente; conversione; assorbimento. Schema di impianto. Inquinamento da gas solforosi. Ottenimento di zolfo da solfuro di idrogeno: processo Claus.

*Acido fosforico.* Attacco delle fosforiti, filtrazione. Ossidazione di fosforo e successiva idratazione.

*Fertilizzanti.* Classificazione e mercato. Granulazione e prilling. Solfato e nitrato d'ammonio. Urea: aspetti termodinamici e cinetici; processi Montedison e Snam Progetti. Superfosfato. Sali potassici. *Soda Solvay.* Discussione termodinamica. Bicarbonato sodico: produzione, filtrazione, decomposizione. Recupero dell'ammoniaca. Schema completo d'impianto.

*Processi elettrotermici.* Produzione di carburo di calcio e di fosforo.

*Cloro/soda.* Serie elettrochimica degli elementi, rendimenti. Elettrodi. Celle a diaframma, ad amalgama, a membrana. Impieghi della soda elettrolitica e del carbonato sodico.

*Frazionamento dell'aria.* Cicli termodinamici di liquefazione: Linde semplice, a doppia espansione; Claude. Analisi delle cause di perdita; efficienza dei cicli. Colonna doppia di Linde. Scambiatori di calore e rigeneratori. Schemi completi di impianto. Recupero di gas rari.

*Analisi delle linee di produzione di alcune delle principali commodities dell'industria chimica organica.*

*Testi consigliati:*

I. PASQUON, *Chimica Industriale I*, CittàStudi, Milano.

G. NATTA, I. PASQUON, *Principi della chimica industriale*, vol. I, CittàStudi, Milano.

G. NATTA, I. PASQUON, P. CENTOLA, *Principi della chimica industriale*, vol. II, CittàStudi, Milano.

I. PASQUON, G. GUERRERI, *Principi della chimica industriale*, vol. III, CittàStudi, Milano.

I. PASQUON, G.F. PREGAGLIA, *Principi della chimica industriale*, vol. V, CittàStudi, Milano.

**Esame:** Prova scritta concernente bilanci di materia ed energia, calcoli sull'equilibrio chimico omogeneo ed eterogeneo, valutazioni economiche. Discussione orale di processi industriali.

**Propedeuticità consigliate:** si veda quanto detto nelle premesse.

**Tesi di laurea.** Analisi di processi industriali. Confronto e valutazione di alternative di processo e/o impianto.

## CHIMICA L

BO, cds: C

Docente: **Maurizio Fiorini** prof. ass.

**La struttura atomica della materia.** La materia: atomi e molecole. Pesì atomici relativi e assoluti; l'unità di massa atomica. La mole ed il numero di Avogadro. La struttura dell'atomo: il modello di Rutherford.

**Il nucleo atomico.** Il numero atomico e il numero di massa; gli isotopi. Nuclidi stabili e radionuclidi; cenni sul decadimento radioattivo e sulle emissioni  $\alpha$ ,  $\beta^-$ .

**La struttura elettronica degli atomi.** La struttura elettronica nello stato fondamentale dei principali elementi. Gli elementi e la moderna classificazione periodica. Le principali proprietà periodiche.

**Il legame chimico.** Il concetto di legame chimico e di energia di legame. I vari tipi di legame chimico. Il legame ionico e l'energia reticolare. Proprietà dei composti ionici. Il legame covalente: legami semplici e legami multipli: legami di tipo  $\sigma$  e di tipo  $\pi$ . Le formule di struttura e il loro significato. Legami polari; molecole polari ed apolari. Il legame metallico: proprietà principali dei solidi metallici; il modello a bande nei solidi. Conduttori, isolanti e semiconduttori. I legami deboli.

**Le reazioni chimiche.** L'equazione stechiometrica e il suo significato; bilanciamento delle equazioni stechiometriche. La nomenclatura IUPAC per i composti inorganici più comuni.

**Gli stati di aggregazione della materia.** Lo stato gassoso: l'equazione di stato dei gas perfetti. Cenni alla teoria cinetica dei gas e alla legge di distribuzione delle velocità molecolari. Cenni ai gas reali.

Lo stato liquido: la pressione di vapore e la temperatura di ebollizione. La solubilità di un gas in un liquido e sua dipendenza da pressione e temperatura. Solubilità di un solido in un liquido. Le soluzioni: i diversi modi di esprimerne la composizione.

Lo stato solido: solidi amorfi e solidi cristallini; il reticolo cristallino e la cella elementare. I sistemi cristallografici e i vari tipi di celle elementari. Le strutture cristalline compatte: EC, CCC, CFC. Le strutture compatte nei solidi metallici e ionici. Allotropia e polimorfismo; isomorfismo. Le caratteristiche principali dei vari tipi di solidi cristallini (metallici, ionici, molecolari, covalenti, a strati e catene).

**Termochimica:** definizione di sistema termodinamico e variabili di stato. Il primo principio: equivalenza tra lavoro e calore; l'energia interna e l'entalpia. Termochimica: le equazioni termochimiche; entalpie standard di reazione, di formazione e di combustione. La legge di Hess e sue applicazioni.

**Soluzioni acquose: gli acidi e le basi:** equilibri ionici in soluzione: l'autoprotolisi dell'acqua. La scala del pH. Acidi e basi secondo Brønsted e Lowry. Forza degli acidi e delle basi. Il calcolo

del pH di soluzioni di acidi e basi.

**Equilibri fra fasi diverse:** la regola delle fasi e la sua applicazione in casi semplici. Gli equilibri liquido-vapore, solido-vapore e solido-liquido: interpretazione delle relative curve nel diagramma di stato di un componente puro. I diagrammi di stato dell'acqua e dell'anidride carbonica. Cenni alle proprietà colligative delle soluzioni. Equilibri tra fasi condensate: diagrammi di stato a più componenti.

*Testi consigliati:*

R.A. MICHELIN, A. MUNARI, *Fondamenti di Chimica per le Tecnologie* - CEDAM, Padova, I Ed. (2002).

P.W. ATKINS, L. JONES, *Principi di Chimica*, Zanichelli, Bologna (2002).

P. SILVESTRONI, *Fondamenti di Chimica*, Veschi, Milano.

S.S. ZUMDAHL, *Chimica*, Zanichelli, Bologna.

*Per l'autovalutazione e per l'ausilio nella risoluzione degli esercizi:*

R.A. MICHELIN, M. MOZZON, A. MUNARI, *Test ed Esercizi di Chimica* - CEDAM, Padova, II Ed. (1998).

P. MANARESI, E. MARIANUCCI, *Problemi di Chimica per Ingegneria* - Esculapio, Bologna (1997).

Modalità d'esame: prova scritta. Prova orale facoltativa.

Iscrizione nelle liste d'esame predisposte sul sito UNIWEX

## CHIMICA L

CE, cds: dud

Docente: **Corrado Berti** prof. straord.

### *Finalità del corso*

Il corso si propone di fornire i principi di base della Chimica, con l'intento di conseguire i seguenti obiettivi specifici: comprendere il linguaggio degli argomenti chimici; comprendere il significato di una reazione chimica ed effettuare calcoli stechiometrici; descrivere le caratteristiche chimico-strutturali della materia nei diversi stati di aggregazione; essere in grado di correlare la struttura chimica dei materiali alle loro proprietà; comprendere gli aspetti energetici e cinetici della trasformazioni chimiche.

### *Contenuti del corso*

Struttura e proprietà della materia: struttura atomica, struttura elettronica, sistema periodico, legame chimico; stati di aggregazione della materia: solidi, liquidi e gas.

Nomenclatura e principali classi di composti inorganici.

La reazione chimica e calcoli stechiometrici; elementi di termochimica; equilibrio chimico e rendimento di una reazione.

Equilibri tra fasi diverse: introduzione ai diagrammi di stato.

Le soluzioni e le loro proprietà: concentrazione, acidità, basicità e pH.

Cinetica chimica.

Cenni di chimica organica.

**Testi consigliati:**

R.A. MICHELIN, A. MUNARI, *Fondamenti di Chimica*, CEDAM.

P.W. ATKINS, *Chimica Generale*, Zanichelli.

P. MANARESI, E. MARIANUCCI, *Problemi di Chimica per Ingegneria*, Esculapio.

**CHIMICA ORGANICA L****BO, cds: Q**

Docente: **Leonardo Marchetti** prof. ord.

L'oggetto, l'importanza scientifica ed industriale, e l'evoluzione della Chimica Organica: cenni storici e prospettive attuali.

Richiami sulla struttura atomica della materia, la struttura elettronica degli atomi e delle molecole, il legame chimico, l'ibridazione degli orbitali.

Le formule dei composti organici e la loro rappresentazione grafica.

La classificazione dei composti organici. Le nomenclature d'uso e la nomenclatura razionale IUPAC dei composti organici.

Gli idrocarburi alifatici (saturi ed insaturi, a catena aperta e ciclici), e gli idrocarburi aromatici: struttura, nomenclatura, proprietà fisiche, preparazione e reattività.

L'isomeria in Chimica Organica: isomeria strutturale (di catena, di posizione, di funzione) e stereoisomeria (isomeria conformazionale, isomeria geometrica ed isomeria ottica); le nomenclature E,Z e R,S.

Le reazioni organiche: richiami di stechiometria, di termodinamica chimica e di cinetica. Richiami sull'equilibrio chimico, sulle reazioni di ossidriduzione, su pH e sul concetto di acido e di base secondo Arrhenius, Bronsted-Lowry e Lewis.

La classificazione delle reazioni organiche. Il meccanismo delle reazioni organiche: principi generali ed aspetti termodinamici e cinetici. Gli effetti induttivi, di risonanza e sterici.

I composti organici alogenati. Gli alcoli, i fenoli, i tioli. Gli eteri, gli epossidi, i solfuri e gli altri derivati organici dello zolfo. Le aldeidi ed i chetoni. Gli acidi carbossilici ed i loro derivati. Le ammine e gli altri composti organici azotati. I composti organici polifunzionali.

I composti eterociclici, aromatici e non aromatici (cenni).

I polimeri organici: definizione e classificazione. Polimerizzazioni per addizione e per condensazione.

Le biomolecole (cenni): i lipidi - i carboidrati - gli amminoacidi e le proteine - gli acidi nucleici - i terpeni.

**Testi consigliati:**

H. HART, *Chimica Organica*, Ed. Zanichelli, Bologna.

J. KICE, E. MARVELL, *Principi di Chimica Organica*, Ed. Piccin, Padova.

J. MCMURRAY, *Fondamenti di Chimica Organica*, Ed. Zanichelli, Bologna.

C. DI BELLO, *Principi di Chimica Organica*, Ed. Decibel, Padova.

**Esame:** La prova finale d'esame è orale: per esservi ammessi è necessario superare preliminarmente le tre prove scritte effettuate durante il corso delle lezioni, oppure una prova scritta straordinaria.

**CIRCUITI A MICROONDE E ONDE MILLIMETRICHE**

BO, cds: T

Docente: **Alessandro Lipparini** prof. straord.

L'Insegnamento si propone di fornire un'introduzione generale ai principi di funzionamento e alle tecniche di progetto dei circuiti e sottosistemi a radiofrequenza per i moderni sistemi di telecomunicazioni, con particolare riferimento ai sistemi radiomobili. Particolare attenzione è dedicata alle metodologie di simulazione e progetto assistiti da elaboratore (CAD). Le esercitazioni di laboratorio sono intese a familiarizzare lo studente con i principali strumenti di CAD attualmente in uso nei laboratori di ricerca e sviluppo dell'industria del settore.

*Programma dell'insegnamento*

Il front-end e i suoi blocchi funzionali fondamentali. Architetture tipiche dei front-end per ritrasmettitori portatili. Cenni sulle tecnologie realizzative: circuiti ibridi su substrato dielettrico e circuiti monolitici su substrato di arseniuro di gallio e al silicio. Importanza delle funzioni non lineari.

Metodi elementari di progetto. Carta di Smith. Adattatori di impedenza a banda stretta.

Simulazione per via numerica di circuiti a microonde lineari e non lineari. Metodi di analisi lineare di circuiti. Cenni sulle tecniche di simulazione non lineare nel dominio dei tempi. Principi di analisi di stabilità per circuiti non lineari forzati e autonomi. Riscaldamento dei dispositivi e smaltimento del calore. Analisi elettrotermica di circuiti operanti in regime di onda continua e di radiofrequenza impulsata.

I principali sottosistemi attivi e non lineari. Amplificatori di topologia tradizionale e amplificatori distribuiti. Convertitori di frequenza (mixer) semplici e bilanciati. Modulatori di ampiezza. Moltiplicatori e divisori di frequenza. Oscillatori liberi, VCO e modulatori di frequenza. Mixer autooscillati.

Metodo generalizzato per il calcolo del rumore nei sottosistemi lineari. Rappresentazione delle sorgenti di rumore. Rumore di conversione e rumore di modulazione. Calcolo della cifra di rumore dei mixer e del rumore di fase negli oscillatori. Metodi di riduzione del rumore di fase. Relazioni tra stabilità e rumore.

Progetto mediante analisi ripetute. Metodi di ottimizzazione. Ottimizzazione di sottosistemi per le prestazioni di segnale e di rumore. Concetto di resa di produzione. Progetto statistico mediante ottimizzazione della resa.

*Testi consigliati:*

K.C. GUPTA, RAMESH GARG, RAKESH CHADHA, *Computer-Aided Design of Microwave Circuits*, Artech House, Dedham.

STEPHEN A. MAAS, *Nonlinear Microwave Circuits*, Artech House, Norwood.

GEOGE D. VENDELIN, ANTHONY M. PAVIO, ULRICH L. ROHDE, *Microwave Circuit Design*, John Wiley & Sons, New York.

*Esame:* consiste in una prova orale.

*Esercitazioni:* comprendono anche sedute al terminale, dedicate alla risoluzione di problemi di simulazione e di progetto mediante programmi commerciali di CAD.

*Propedeuticità consigliate:* Campi elettromagnetici e Microonde.

*Tesi di Laurea.* Prevalentemente nell'ambito del CAD di circuiti a microonde. Analisi e progetto con l'ausilio del calcolatore di circuiti integrati lineari e non lineari.

**CIRCUITI ELETTRONICI ANALOGICI LA****BO, cds: L**Docente: **Antonio Gnudi**, prof. ass.**Finalità del corso**

Conoscenze di base per l'analisi dei circuiti elettronici analogici.

**Programma del Corso**

Segnali e loro elaborazione tramite circuiti elettrici: generalità, metodi matematici per l'analisi dei circuiti lineari tempo-invarianti, funzioni di trasferimento, componenti dei circuiti lineari, bipoli, doppi bipoli, funzioni di rete, doppi bipoli amplificatori e loro connessione, stabilità.

Dispositivi elettronici come componenti non lineari: diodo a giunzione, transistoro bipolare a giunzione, descrizione del comportamento elettrico e modelli compatti elementari.

Analisi di circuiti non lineari e punto di riposo, applicazione ad alcuni esempi notevoli: specchi di corrente, generatori di corrente, coppia differenziale.

Il regime di piccoli segnali: linearizzazione e circuiti equivalenti per piccoli segnali dei dispositivi elettronici introdotti, stadi amplificatori elementari, amplificatori a più stadi, amplificatori differenziali, stabilità dei punti di riposo.

Retroazione nei circuiti elettronici. amplificatori operazionali come componenti elettronici e circuiti operazionali.

**Testi consigliati**P.U. CALZOLARI, S. GRAFFI, *Elementi di elettronica*, Ed. Zanichelli.P.R. GRAY, R.G. MEYER, *Circuiti integrati analogici*, Ed. McGraw-Hill.**CIRCUITI ELETTRONICI ANALOGICI L****BO, cds: T**Docente: **Sergio Graffi** prof. ord.

Il corso si propone di fornire le conoscenze di base sull'analisi e sui criteri di progetto dei circuiti elettronici analogici.

Approssimazione e cifre significative di un dato numerico, notazione scientifica e notazione ingegneristica, sottomultipli e multipli delle unità di misura. Circuiti elettr(on)ici. Circuiti fisici, modelli matematici, progetto e analisi, componenti. Descrizioni dei modelli di circuiti: grafica (schemi elettrici) e alfanumerica (netlist). Nodo di riferimento, equazioni nodali dei circuiti. Bipoli, bipoli notevoli (o elementari o fondamentali) normali (o lineari) e anomali (o nonlineari): generatori indipendenti, resistore, condensatore, induttore, generatori dipendenti. Segnali e piccoli segnali, valori di riferimento o di polarizzazione, polarizzazioni costanti, stati (o punti) di riposo. Linearizzazione delle relazioni costitutive dei bipoli notevoli, parametri differenziali. Modelli del diodo a giunzione come resistore anomalo, proprietà e applicazioni ai principali circuiti raddrizzatori. Modelli per la capacità differenziale dei diodi. Amplificazione, doppi bipoli autonomi e loro relazioni costitutive, principali matrici dei doppi bipoli autonomi normali; doppi bipoli notevoli: amplificatore ideale di tensione, amplificatore ideale di corrente, transresistore ideale, transconduttore ideale, caso particolare dei componenti tripolari. Connessioni notevoli di transduttori tripolari: connessione "a diodo", specchi di corrente, coppia differenziale, stadi amplificatori differenziali. Amplificatore operazionale ideale. Principali connessioni degli amplificatori operazionali (circuiti operazionali). Esempi di dispositivi elettronici tripolari (BJT, MOST) e loro modelli elementari. Stadi amplificatori elementari con componenti tripolari ed

esempi con i dispositivi noti. Accoppiamenti di stadi in cascata ed esempi. Richiami e complementi sull'uso dei metodi trasformativi nell'analisi dei circuiti lineari, sulle funzioni di trasferimento, sulle curve di risposta. Il problema della stabilità degli stati di riposo, polinomio caratteristico, equazione caratteristica. La retroazione nei circuiti elettronici.

## **CIRCUITI ELETTRONICI DIGITALI**

**BO, cds: T**

Docente: **Guido Masetti** prof. ord.

Il corso si propone di affrontare lo studio e l'analisi dei circuiti elettronici digitali elementari. Esso rappresenta la naturale prosecuzione del corso di Elettronica LA e fornisce gli elementi di base a corsi successivi in cui si studiano le applicazioni dei circuiti digitali CMOS.

### **Programma:**

Introduzione alle famiglie logiche e definizione delle loro principali caratteristiche.

Principio di funzionamento e modello circuitale di ordine 1 del transistor MOS.

Famiglia logica CMOS statica pienamente complementare: criteri di progetto e calcolo dei parametri caratteristici.

Impiego dei transistori MOS come transfer-gate. Circuiti dinamici CMOS.

Ritardo di propagazione attraverso una cascata di stadi elementari. Buffer CMOS.

Circuito alle variazioni del MOSFET. Stadi elementari CMOS.

Circuiti sequenziali: realizzazioni CMOS.

Memorie a semiconduttore: classificazione ed organizzazione generale.

RAM statiche e dinamiche. Memorie non volatili (ROM, PROM, EPROM, E2PROM, FLASH).

Cenni sulla tecnologia planare del silicio e sulle metodologie di progetto dei sistemi digitali: full-custom, semi-custom e basate su schiere logiche programmabili.

Esercitazioni: simulazione circuitale di semplici circuiti digitali.

### **Testi consigliati:**

ANANTHA P. CHANDRAKASAN | JAN M. RABAEY, *Digital Integrated Circuits, A design Perspective*, Prentice Hall, 2001.

E. FRANCHI SCARSELLI, L. SELMI, *Esercizi d'esame di Elettronica Digitale*, Patron Editore Bologna, ottobre 1998.

## **CIRCUITI ELETTRONICI DI POTENZA L**

**BO, cds: E**

Docente: **Gabriele Grandi** ric.

### **Finalità del Corso**

Il corso si propone di fornire gli elementi di base dei circuiti elettronici di potenza impiegati in ambiente civile ed industriale. In particolare, vengono evidenziati gli aspetti applicativi delle diverse tipologie di convertitori, i criteri di scelta e la procedura per il loro dimensionamento di massima.



## Programma del Corso

Introduzione alle apparecchiature elettroniche per la conversione statica dell'energia elettrica. Generalità sui raddrizzatori e sui convertitori *switching*, bilanci di potenza. Commutazione naturale e commutazione forzata. Interruttori ideali ed interruttori reali, perdite di conduzione e di commutazione. Dispositivi elettronici di potenza: diodi, tiristori (SCR), GTO, transistor bipolari (BJT), MOSFET, IGBT, nuove tecnologie. Rete termica dei componenti. Elementi per il progetto e la verifica termica. Grandezze periodiche, sviluppo in serie di Fourier. Distorsione armonica. Convertitori AC/DC: raddrizzatori non controllati e raddrizzatori controllati. Ponti monofase e ponti trifase. Convertitori *switching*: la cella base di commutazione (*chopper*). La modulazione a larghezza di impulso (PWM). Implementazione analogica e digitale. Convertitori DC/DC: abbassatori (*buck*), innalzatori (*boost*), configurazioni *buck-boost*. Funzionamento ad 1, 2 e 4 quadranti. Ponte ad "H". Convertitori DC/AC: *inverter* monofase, *inverter* trifase. Calcolo delle perdite e del rendimento. Controllo della corrente con convertitori a tensione impressa: ad anello aperto, in retroazione, regolazione ad isteresi. Cenni sui convertitori risonanti.

## Propedeuticità consigliate e modalità di esame

È consigliabile aver seguito gli insegnamenti di *Elettrotecnica*, *Elettronica* e *Controlli Automatici*, dei quali il *Corso di Circuiti Elettronici di Potenza* costituisce una consequenziale estensione. L'esame è orale. La prova d'esame ha inizio con la discussione di una relazione scritta, redatta a cura dello studente, avente per oggetto un argomento scelto tra quelli trattati durante le lezioni. Le liste e gli appelli d'esame sono gestite via web al sito <https://uniwex.unibo.it>.

## Materiale didattico consigliato

Sono in fase di stesura dispense redatte a cura del Docente. Ulteriori notizie ed informazioni inerenti il corso sono reperibili al sito web <http://www.die.ing.unibo.it/cep.htm>.

Nel corso delle esercitazioni viene utilizzato il programma di simulazione circuitale PSpice. Agli studenti è fornita una versione "demo" del programma. Sono inoltre resi disponibili PC per esercitazioni assistite presso il Laboratorio informatico della Facoltà.

## Testi di consultazione ed approfondimento

N. MOHAN, T. UNDELAND, W.P. ROBBINS, *Power Electronics*, 2nd edition, J. Wiley & Sons, 1995.  
M. RASHID, *Power Electronics: circuits, devices, and applications*, 2nd Ed. Prentice Hall, 1995.  
J.G. KASSAKIAN, M.F. SCHLECHT, G.C. VERGHESE, *Principles of Power Electronics*, MIT, Addison-Wesley, 1992.

## COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA INDUSTRIALE

BO, cds: N, E

Docente: Ugo Reggiani prof. ord.

## Finalità dell'Insegnamento

Il Corso si propone di fornire agli Studenti gli elementi di base della compatibilità elettromagnetica, con riferimento ai disturbi condotti ed irradiati, alle modalità di accoppiamento ed alle linee guida per il progetto di sistemi elettromagneticamente compatibili nel quadro normativo nazionale ed internazionale. Nel corso sono svolti elementi di propagazione elettromagnetica e presentate in modo sintetico le principali modalità e tecniche di schermatura dei campi elettromagnetici.

## Programma

### *Introduzione alla compatibilità elettromagnetica (EMC)*

Esempi di problemi EMC. Principali sorgenti di disturbi elettromagnetici. Emissione ed immunità. Disturbi condotti e disturbi irradiati. Unità di misura tipiche della EMC.

#### *Emissioni condotte.*

Disturbi condotti di modo comune (CM) e di modo differenziale (DM). Esempi di sorgenti di disturbi condotti. Normativa. Metodi e strumenti di misura. Rete stabilizzatrice dell'impedenza di linea (LISN). Risoluzione problemi: filtri, alimentatore, posizionamento dei componenti all'interno dell'apparecchiatura. Filtri di rete: attenuazione di inserzione, blocco dei disturbi di CM, blocco dei disturbi di DM, blocco di entrambi i disturbi di CM e DM, problemi nell'uso dei filtri.

#### *Comportamento non ideale dei componenti elettrici*

Modello reale di condensatori, induttori, resistori. Risposta in frequenza dell'impedenza di condensatori, induttori e resistori reali.

#### *Emissioni irradiate*

Modello di emissione per correnti di DM. Modello di emissione per correnti di CM. Normativa. Metodi e strumenti di misura. Siti di misura. Risoluzione problemi.

#### *Immunità condotta*

Problematiche. Risultati delle prove di immunità. Disturbi nella rete di distribuzione. Disturbi impulsivi: burst, surge e sistemi di prova. Variazione di tensione. Sistemi di prova per disturbi di variazione di tensione. Norme sull'immunità.

#### *Immunità radiata*

Problematiche. Tensioni ai terminali di una linea bifilare illuminata da un'onda piana uniforme. Normativa. Metodi, strumenti e siti di misura. Risoluzione problemi.

#### *Antenne EMC*

Generalità. Esempi di antenne EMC: fattore d'antenna, balun, antenna biconica, antenna log-periodica e antenna bilog.

#### *Direttiva 89/336/CEE*

Obiettivi e definizioni. Procedure per la valutazione della conformità alla Direttiva di apparecchiature elettriche ed elettroniche. Analisi EMC e relativo diagramma a blocchi.

#### *Elementi di propagazione elettromagnetica*

Equazioni vettoriali delle onde. Mezzi privi di perdite: equazione di d'Alembert e sua soluzione, onda progressiva ed onda regressiva, soluzione in regime sinusoidale permanente, onda elettromagnetica trasversale (onda TEM), impedenza caratteristica del mezzo. Mezzi con perdite: onda TEM, costante di attenuazione e costante di fase, impedenza caratteristica del mezzo. Comportamento elettrico di un materiale (conduttore o isolante) e sua dipendenza dalla frequenza. Mezzo conduttore: onda TEM, impedenza caratteristica di un conduttore, spessore di penetrazione. Dimensioni elettriche di un circuito. Diffusione del campo magnetico in un mezzo lineare e isotropo. Onda TEM incidente su un piano di separazione di due mezzi: coefficienti di riflessione e di trasmissione, riflettore perfetto e riflettore non perfetto. Campo elettromagnetico irradiato da un dipolo elettrico e da un dipolo magnetico elementari. Campo vicino e campo lontano. Impedenza del campo vicino. Potenza irradiata da un dipolo elementare.

**Schermatura**

Cenni sui metodi e tecniche di schermatura dei campi elettromagnetici.

Le lezioni sono integrate da esercitazioni pratiche di laboratorio.

**Testo consigliato:**

C. R. PAUL, *Compatibilità Elettromagnetica*, Hoepli, Milano, 1995.

**Esame:** orale.

**COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA L**

**BO, cds: N, E**

Docente: Ugo Reggiani prof. ord.

**Finalità dell'Insegnamento**

Il Corso si propone di fornire agli Studenti gli elementi di base della compatibilità elettromagnetica, con riferimento ai disturbi condotti ed irradiati, alle modalità di accoppiamento ed alle linee guida per il progetto di sistemi elettromagneticamente compatibili nel quadro normativo nazionale ed internazionale.

**Programma**

Introduzione alla compatibilità elettromagnetica (EMC)

Esempi di problemi EMC. Principali sorgenti di disturbi elettromagnetici. Emissione ed immunità. Disturbi condotti e disturbi irradiati. Unità di misura tipiche della EMC.

**Emissioni condotte.**

Disturbi condotti di modo comune (CM) e di modo differenziale (DM). Esempi di sorgenti di disturbi condotti. Normativa. Metodi e strumenti di misura. Rete stabilizzatrice dell'impedenza di linea (LISN). Risoluzione problemi: filtri, alimentatore, posizionamento dei componenti all'interno dell'apparecchiatura. Filtri di rete: attenuazione di inserzione, blocco dei disturbi di CM, blocco dei disturbi di DM, blocco di entrambi i disturbi di CM e DM, problemi nell'uso dei filtri.

**Comportamento non ideale dei componenti elettrici**

Modello reale di condensatori, induttori, resistori. Risposta in frequenza dell'impedenza di condensatori, induttori e resistori reali.

**Emissioni irradiate**

Modello di emissione per correnti di DM. Modello di emissione per correnti di CM. Normativa. Metodi e strumenti di misura. Siti di misura. Risoluzione problemi.

**Immunità condotta**

Problematiche. Risultati delle prove di immunità. Disturbi nella rete di distribuzione. Disturbi impulsivi: burst, surge e sistemi di prova. Variazione di tensione. Sistemi di prova per disturbi di variazione di tensione. Norme sull'immunità.

**Immunità radiata**

Problematiche. Tensioni ai terminali di una linea bifilare illuminata da un'onda piana uniforme. Normativa. Metodi, strumenti e siti di misura. Risoluzione problemi.

**Antenne EMC**

Generalità. Esempi di antenne EMC: fattore d'antenna, balun, antenna biconica, antenna lo-periodica e antenna bilog.

**Direttiva 89/336/CEE**

Obiettivi e definizioni. Procedure per la valutazione della conformità alla Direttiva di apparecchiature elettriche ed elettroniche. Analisi EMC e relativo diagramma a blocchi. Le lezioni sono integrate da esercitazioni pratiche di laboratorio.

**Testo consigliato:**

C. R. PAUL, *Compatibilità Elettromagnetica*, Hoepli, Milano, 1995.

**Esame:** orale.

**COMPONENTI E TECNOLOGIE ELETTRICHE I****BO, cds: E**

Docente: **Luciano Simoni** prof. ord.

Richiami della teoria dei campi vettoriali. Campi conservativi e campi solenoidali.

Le equazioni generali dell'elettromagnetismo: le equazioni di Maxwell in forma locale e in forma integrale. Le equazioni della divergenza. Teorema di Gauss. Le equazioni di legame e loro integrazione ai circuiti elettrici e magnetici. Il campo elettrico e il campo magnetico.

Calcolo del campo elettrico dovuto a un conduttore rettilineo indefinito. Linee aeree. Effetto corona e rimedi. Corde alluminio-acciaio, conduttori a fascio.

Materiali magnetici. Curva di magnetizzazione e proprietà. Permeabilità normale e differenziale. Materiali magnetici dolci e duri. Acciai comuni e speciali. Cenno alla tecnologia degli acciai e ai trattamenti termici. Materiali magnetici per alta frequenza. Magneti permanenti: richiami teorici, materiali usati. Ottimizzazione del progetto.

Progetto dei nuclei magnetici. Trasformatori. Richiami teorici. Tecnologia dei trasformatori. Lamierini isotropi e a cristalli orientati. Soluzioni tecniche. Lamierini per macchine rotanti. Taglio dei lamierini.

Sintesi di tecnologie generali: lavorazioni plastiche, elementi di teorie del taglio, le principali macchine utensili.

Materiali isolanti. Excursus storico. I principali materiali isolanti. I polimeri.

La polarizzazione dei dielettrici. Perdite e rilassamento dei dielettrici. Circuito equivalente. Equazioni di Debye. Polarizzazione spontanea. Condensatori ceramici. Polarizzazione interfacciale.

Condensatori di potenza. Progetto e sua ottimizzazione. Dal carta-olio minerale al carta-PCB al condensatore misto al tutto film.

La scarica negli isolanti. Rigidità dielettrica e sue grandezze di influenza. Meccanismo di scarica. La scarica intrinseca. La scarica per instabilità termica e la Rigidità dielettrica inerente. Influenza del tipo di tensione, della temperatura, dello spessore dei provini.

Scariche parziali. Meccanismo delle s.p. Scarica per s.p. Formazione e crescita del treeing. Diagnostica con le s.p.

La statistica della scarica.

**COMPONENTI E TECNOLOGIE ELETTRICHE**

BO, cds: E

Docente: Gian Carlo Montanari prof. straord.

**I Componenti a superconduttori**

1. Aspetti generali della superconduttività: Cenni storici, proprietà macroscopiche, fenomenologia dei superconduttori, superconduttori del I tipo, temperatura critica campo critico, corrente critica, frequenza critica e mutui legami, lo stato intermedio e lo stato misto, superconduttori del II tipo, teoria di London, cenni sulle teorie di Ginnzburg-Landau e BCS, superconduttori reali e fenomeni di pinning. Esercitazioni di laboratorio.
2. Ossidi superconduttori – una nuova classe di materiali per l'ingegneria elettrica: Materiali superconduttori per le applicazioni elettriche, struttura cristallina e metodi di preparazione, BSCCO e YBCO, configurazione dei manufatti superconduttori per applicazioni energetiche.
3. Metodi per la caratterizzazione elettromagnetica dei superconduttori: Misura della corrente critica, misura della magnetizzazione e ciclo di isteresi. Esercitazioni di laboratorio.
4. Applicazioni nel settore energetico: Vari tipi di applicazioni (risonanza magnetica, limitatori di corrente, SMES, motori e trasformatori), cavi a superconduttori (tecniche costruttive per cc e ca, isolamento elettrico, calcolo di campi magnetici e perdite, bilancio termico).

**II Cavi per energia**

1. Cavi estrusi per media ed alta tensione: Sviluppo dei cavi estrusi nel mercato, tecniche di reticolazione, morfologia ed imperfezioni, effetto delle condizioni ambientali e delle sollecitazioni (degradazione, water treeing). Esercitazioni di laboratorio.
2. Nuovi tipi di cavo per alte tensioni: Cavi a gas (isolante elettrico, processi di scarica, criteri di progetto), cavi a temperatura criogenica (isolante elettrico, processi di scarica, criteri di progetto).
3. Cenni su altre applicazioni degli isolamenti a gas: Interruttori, stazioni blindate.

**II Condensatori per alta e bassa tensione**

1. Condensatori per alta tensione: Materiali, fabbricazione e progetto (condensatori all film e dielettrico misto), prestazioni.
2. Condensatori di potenza per bassa tensione: Condensatori all film a secco e impregnati, fabbricazione e prestazioni.
3. Prove di verifica e collaudo e meccanismi di degradazione.
4. Utilizzo dei condensatori per la compensazione della potenza reattiva e della qualità dell'energia: definizione del fattore di potenza in regime di distorsione di tensione e corrente, metodi di compensazione della potenza reattiva, controllo delle correnti armoniche e limiti di distorsione, risonanza serie e parallelo e filtri (criteri di progetto dei filtri). Esercitazioni di laboratorio.

**III Batterie**

1. Principi di funzionamento delle batterie: Pila di Volta e Daniell, polarizzazione e reversibilità
2. Caratteristiche delle batterie: Tensione, capacità e loro dipendenza da fattori progettuali.
3. Tipi di pile: pile a liquido, pile a secco (struttura, caratteristiche di scarica, prestazioni).
4. Accumulatori: Accumulatori acidi (reazioni elettrochimiche fondamentali, gassing e accumulatori a ricombinazione di gas, caratteristiche delle celle al piombo), accumulatori alcalini (tipi, reazioni elettrochimiche fondamentali, caratteristiche delle celle al cadmio, batterie sigillate), accumulatori per automobile.
5. Celle a combustibile: Principi di funzionamento della cella, effetto dei parametri operativi sulle prestazioni, impianti di celle a combustibile.

#### **IV Tecnologie relative ai processi di formazione di cariche elettrostatiche**

1. Richiami di elettrostatica.
2. Processi microscopici di formazione delle cariche: Modello a bande, meccanismi di carica macro e microscopici, trasferimento delle cariche.
3. Fenomenologia macroscopica: Separazione di carica per induzione, sfregamento, tempo di carica ed energia accumulata, scarica. Funzionamento della fotocopiatrice
4. Problemi connessi ai fenomeni elettrostatici: Industria elettronica, ospedali, luoghi con rischio di esplosione ed incendio, aspetti normativi, prevenzione degli eventi di scarica.
5. Misura delle grandezze tipiche dei fenomeni elettrostatici: Misura della carica totale, della densità di carica superficiale, del campo elettrico, dell'energia, misure per la qualificazione dei componenti, modelli per la simulazione degli eventi di accumulo e scarica.

*Testi consigliati:*

Appunti del docente.

#### **COMPORAMENTO MECCANICO DEI MATERIALI L**

**FO, cds: cla, clm**

Docente: **Vincenzo Dal Re** prof. ass.

- 1 - **RICHIAMI DI STATICA GRAFICA.** Operazioni sulle forze: somma di due o più forze. Poligono delle forze. Composizione di forze e coppie. Curva funicolare.
- 2 - **STATICA DELLE TRAVI.** I vincoli. Sistemi di vincoli. Esempi di strutture labili, isostatiche e iperstatiche. Le reazioni vincolari. Calcolo delle reazioni vincolari nelle strutture isostatiche. Esempi: travi ed archi.
- 3 - **LE CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE.** Sforzo normale, sforzo di taglio, momenti flettenti, momento torcente. La curva delle pressioni. Le equazioni indefinite di equilibrio per le travi piane. Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione attraverso le equazioni indefinite di equilibrio. Esempi. Diagrammi di sollecitazione. Esempi. Il metodo di sovrapposizione degli effetti.
- 4 - **LE TENSIONI.** Tensioni normali e tensioni tangenziali. Il principio di St. Venant. Deformazioni e scorrimenti. Il comportamento elastico dei materiali. Il diagramma tensione - deformazione. La legge di Hooke in campo di tensione monoassiale, biassiale e triassiale. Le proprietà delle tensioni tangenziali: teorema di reciprocità. Le tensioni principali. Il circolo di Mohr. I criteri di resistenza: di Rankine, di Grashof, di Tresca, di Von Mises.
- 5 - **I QUATTRO CASI DI SOLLECITAZIONE SEMPLICE NELLE TRAVI**
  - **SFORZO NORMALE.** tensione a compressione. Tensioni nelle sezioni oblique. Variazione di lunghezza della trave. Esempi. Il lavoro di deformazione. La ripartizione reale delle tensioni: concentrazioni di tensione. Tensioni normali in due o tre direzioni.
  - **FLESSIONE.** Flessione retta. Andamento delle tensioni e delle deformazioni. Posizione dell'asse neutro. Esempi. Condizione di resistenza. Esempi. Le forme più convenienti della sezione. Il lavoro di deformazione. La ripartizione reale delle tensioni: concentrazioni di tensione. Flessione deviata.
  - **TORSIONE.** Tensioni nelle travi di sezione circolare soggette a torsione. La condizione di resistenza. La deformazione di torsione. Alberi di trasmissione. Il lavoro di deformazione. Travi tubolari in parete sottile. Tensioni normali che accompagnano le tensioni tangenziali. La relazione tra i moduli elastici  $E$  e  $G$ . Esempi.
  - **TAGLIO.** Teoria elementare del taglio. Sezione rettangolare. Sezione circolare. La tensione tan-

genziale longitudinale. Le deformazioni. Esempi.

6 - L'EQUAZIONE DIFFERENZIALE DELLA LINEA ELASTICA. L'integrazione dell'equazione differenziale della linea elastica. Esempi. Il teorema di Mohr. I corollari del teorema di Mohr. La trave ausiliaria. Esempi. Composizione cinematica delle deformazioni. Esempi.

7 - LE TRAVI IPERSTATICHE. Procedimento di risoluzione. Scelta della trave principale. Esempi di risoluzione di strutture iperstatiche.

8 - STABILITÀ DELLE TRAVI SNELLE SOGGETTE A COMPRESSIONE. Stabilità di un'asta appoggiata soggetta a sforzo normale di compressione: formula di Eulero. Altre condizioni di vincolo: trave a mensola, incastro e appoggio, doppio incastro. Esempi. Considerazioni sul carico di punta.

9 - IL PRINCIPIO DEI LAVORI VIRTUALI. Spostamenti reali e spostamenti virtuali. Lavoro virtuale interno. Lavoro virtuale esterno. Il principio dei lavori virtuali. Calcolo della freccia e della rotazione in un punto. Calcolo di reazioni iperstatiche. Esempi.

### Testi Consigliati

ODONE BELLUZZI, *Scienza delle Costruzioni*, Volume Primo, Zanichelli Editore, Bologna.

MICHELE CAPURSO, *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, Pitagora editrice, Bologna.

T. CAVALLINA - E. D'ANNA, *Esercizi di Scienza delle Costruzioni*, Volume Primo, R. Patron editore, Bologna.

V. DAL RE, *Dispense del Corso di "Comportamento Meccanico dei Materiali"*.

V. DAL RE, *Dispense degli Esercizi d'Esame del Corso di "Comportamento Meccanico dei Materiali"*.

## COMPORTEMENTO MECCANICO DEI MATERIALI LA

CE; cds: clb, dub

Docente: Luca Cristofolini ric.

### Finalità del Corso

Il corso si propone di introdurre gli studenti alle leggi meccaniche che regolano il comportamento meccanico dei solidi. La meccanica dei materiali è una disciplina che studia il comportamento dei solidi sotto carico (stato di deformazione, modi di collasso), per dare risposte a domande quali "Si rompe?", "Subisce una deformazione permanente?", "Si usura?", "Si deforma troppo?", etc.

Il corso mira a fornire le conoscenze di base per lo studio ingegneristico degli stati di tensione e deformazione nei solidi, e della risposta dei materiali a tali sollecitazioni..

### Programma del Corso

0. *Richiami sui principali concetti meccanici* - Forze, momenti, condizioni di equilibrio, condizioni di vincolo

1. *Fondamenti di scienza delle costruzioni* - Definizione di deformazione e tensione, normali e di taglio. Stati uniassiali di sollecitazione.

2. *Fondamenti di scienza delle costruzioni* - Stati di sollecitazione semplice: campi di tensione e deformazione sforzo normale, taglio, torsione e flessione. Concentratori di tensione. Sollecitazioni composte.

3. *Fondamenti di meccanica dei materiali* - Curve tensione-deformazione. Leggi costitutive del

materiale: elasticità (legge di Hooke, coefficiente di Poisson), plasticità, viscoelasticità (creep, rilassamento).

4. *Fondamenti di meccanica dei materiali* - Criteri di collasso. Collasso istantaneo e nel tempo: eccesso di deformazione, snervamento, rottura (duttile e fragile; energia di rottura), fatica, corrosione, usura, creep.

5. *Caratteristiche dei materiali* - Composizione, micro- e macro-struttura, caratteristiche meccaniche dei materiali artificiali: polimeri, metalli, ceramici, compositi.

6. *Caratteristiche dei materiali* - Composizione, micro- e macro-struttura, caratteristiche meccaniche dei tessuti: tessuti connettivi (tessuto osseo, legamenti e tendini, cartilagini); tessuti epiteliali (derma, epitelio, mesotelio - pericardio, endotelio - vasi sanguigni).

Il corso è integrato da esercitazioni teoriche e sperimentali. Parte integrante di tali esercitazioni è la stesura da parte degli studenti di relazioni tecniche sulle sperimentazioni svolte.

#### *Modalità svolgimento esame*

L'esame consta di due prove scritte (una a metà corso, ed una a fine corso) ed una prova orale. Ciascuno scritto può essere sostenuto a prescindere dall'esito dell'altro. Durante lo scritto, gli studenti possono usare libri, dispense e appunti, oltre alla calcolatrice. Per sostenere l'orale è necessario avere superato con buon esito entrambi gli scritti. Gli appelli dopo la fine del corso, permettono allo studente di sostenere delle prove scritte di recupero, oltre all'orale.

#### *Testi e materiale didattico di supporto*

Il corso si basa su dispense a cura del docente (sufficienti a coprire l'intero programma d'esame).

Lo studente può inoltre approfondire gli studi nei seguenti testi specialistici (facoltativo):

PIETRABISSA R., *Biomateriali per protesi e organi artificiali*, Patron ed. (biomateriali).

BEER F.P., RUSSEL J.E., *Scienza delle costruzioni. Introduzione alla meccanica dei materiali*, McGraw-Hill Publ. (scienza delle costruzioni: teoria ed esempi).

NORDIN M., FRANKEL V.H., *Basic biomechanics of the musculoskeletal system*, Lea & Febiger Publ. (esercizi ed esempi di biomeccanica).

BLACK J., HASTINGS G., *Handobok of biomaterial properties*, Chapman & Hall Publ. (proprietà dei materiali).

BRONZINO J.D., *The Biomedical engineering handbook*, CRC Press - IEEE Press (riferimento generale)

PALASTANGA ET AL., *Anatomy and human movement*, Butterworth-Heinemann Publ. (anatomia funzionale).

#### **COMUNICAZIONI ELETTRICHE**

**BO, cds: G\_Bo**

Docente: **Alberto Zanella** prof. Inc.

Il corso si prefigge l'obiettivo di fornire gli elementi di base necessari all'Ingegnere Gestionale, che opera presso una azienda che produce beni o servizi, per comprendere le problematiche connesse alla gestione di una rete di comunicazione e per effettuare scelte organizzative relative ai flussi informativi aziendali.

A tal fine, il corso è composto da due parti, che parzialmente si alternano durante lo svolgimento delle lezioni:



– una prima parte teorica, che fornisce i principi fondamentali delle telecomunicazioni numeriche, via radio e via cavo;

– una seconda parte più applicativa, che illustra le caratteristiche principali di alcuni sistemi e reti di comunicazione di uso comune e/o grande sviluppo futuro e lo scenario globale che li coinvolge: si accenna alla rete Internet, alle reti mobili cellulari GSM, GPRS e UMTS, ai sistemi wireless per reti locali, al sistema di localizzazione satellitare GPS.

## **Programma**

### *Introduzione*

#### *Teoria dei segnali determinati e dei sistemi*

Segnali determinati: energia, periodici

Segnali determinati: aperiodici

Sistemi lineari e tempo-invarianti

#### *Teoria dei segnali aleatori*

Teoria delle variabili aleatorie

Teoria dei processi aleatori

Rumore termico ed altri disturbi

#### *Teoria della comunicazioni numeriche*

Schema a blocchi di un sistema di trasmissione

Sistema di trasmissione numerico passabasso

Teoria dell'informazione

Segnali

Conversione AD e DA

Multiplicazione

#### *Sistemi di telecomunicazioni*

Architetture protocollari

Mezzi di trasmissione

Sistemi di trasmissione numerici passabanda

#### *Reti di telecomunicazioni*

Accesso Multiplo

IP, TCP, UDP

Reti locali

VoIP

Reti locali wireless (WiFi, Bluetooth)

Reti radiomobili (GSM, GPRS, UMTS)

Localizzazione

### *Testi consigliati*

ROBERTO VERDONE, *Fondamenti di Telecomunicazioni per l'Ingegneria Gestionale*.

LEONARDO CALANDRINO, MARCO CHIARI, *Quaderni di comunicazioni elettriche*, Voll. 1 e 2, Pitagora Editrice.

BRUCE CARLSON, *Communication Systems*, Third Ed., McGraw-Hill.

**Modalità di esame**

Prova scritta e orale.

È prevista una prova intermedia il cui superamento permette l'accesso alla prova orale finale.

**COMUNICAZIONI ELETTRICHE LA**

BO, cds: T

Docente: **Leonardo Calandrino** prof. ord.

Segnali e loro elaborazione. Sistemi e reti di telecomunicazione. Organismi normativi internazionali. Aspetti economici e prospettive di sviluppo.

Analisi dei segnali determinati tempo-continui e tempo-discreti nel dominio delle frequenze (analisi di Fourier) e nel dominio dei tempi (mediante funzioni impulsive). Loro applicazioni allo studio dei sistemi lineari.

Segnali ad energia finita, a potenza finita. Spettro di energia, spettro di potenza.

Segnali analogici e segnali numerici in banda base. Diverse tecniche numeriche di codifica e di compressione dei segnali e relativi standard. Multimedialità. Information and Communication Technology (ICT).

**Bibliografia obbligatoria**

LEONARDO CALANDRINO, MARCO CHIANI, *Quaderni di comunicazioni elettriche*, Pitagora editrice, Bologna.

**COMUNICAZIONI ELETTRICHE LA**

BO, cds: L

Docente: **Marco Chiani** prof. straord.

Segnali e loro elaborazione. Sistemi e reti di telecomunicazione. Organismi normativi internazionali. Aspetti economici e prospettive di sviluppo.

Analisi dei segnali determinati tempo-continui e tempo-discreti nel dominio delle frequenze (analisi di Fourier) e nel dominio dei tempi (mediante funzioni impulsive). Loro applicazioni allo studio dei sistemi lineari.

Segnali ad energia finita, a potenza finita. Spettro di energia, spettro di potenza.

Segnali analogici e segnali numerici in banda base. Diverse tecniche numeriche di codifica e di compressione dei segnali e relativi standard. Multimedialità. Information and Communication Technology (ICT).

**Bibliografia obbligatoria**

LEONARDO CALANDRINO, MARCO CHIANI, *Quaderni di comunicazioni elettriche*, Pitagora editrice, Bologna.

**COMUNICAZIONI ELETTRICHE LA**

BO, cds: I

Docente: **Carlo Caini** ric.

**Finalità**

L'Insegnamento ha lo scopo di fornire alcuni concetti di base delle Comunicazioni Elettriche agli studenti del Corso di Laurea in Ingegneria Informatica. Data la provenienza degli studenti,

la trattazione teorica, di tipo classico, sarà accompagnata da una particolare attenzione verso le applicazioni e verso i relativi aspetti economici, in modo che gli studenti, giunti alla fine del corso, sappiano orientarsi in modo adeguato nel mondo delle telecomunicazioni. È inoltre previsto un largo uso di strumenti informatici per l'approfondimento in aula ed in laboratorio dei temi trattati.

#### *Programma*

Il mondo delle Telecomunicazioni: pietre miliari nello sviluppo della tecnologia, applicazioni e relativi aspetti economici.

Analisi di Fourier: funzioni deterministiche tempo-continue e tempo-discrete nel dominio delle frequenze. Applicazioni allo studio dei sistemi lineari: il concetto di filtro, condizioni di non distorsione. Spettri di energia e di potenza

Rappresentazione numerica dei segnali: tecniche di codifica PCM, ADPCM, percettive, vocoder.

Teoria della modulazione: descrizione delle principali modulazioni analogiche e digitali.

Teoria dell'informazione: entropia di un alfabeto e di una sorgente; codifica di Huffman.

Standard MPEG.

Esercitazioni in laboratorio (hardware e software).

#### *Testi consigliati:*

L. CALANDRINO, G. IMMOVILLI, *Schemi delle lezioni di Comunicazioni Elettriche*, Pitagora Ed., Bologna.

C. CAINI, G. TAZZARI, *Comunicazioni Elettriche e segnali audio*, Esculapio Ed., Bologna.

C. CAINI, C. RAFFAELLI, *Laboratorio di Comunicazioni Elettriche*, Pitagora Ed., Bologna.

Altro materiale scaricabile dal sito Internet del docente

#### *Modalità di esame*

L'esame consiste di una prova scritta e di una prova orale integrativa.

#### *Esercitazioni in laboratorio*

Esercitazioni hardware (rete RC, modulazione AM) e software (spettri, campionamento, filtri, conversioni A/D).

## **COMUNICAZIONI ELETTRICHE LA**

**CE, cds: dul, dui, dut, clb**

Docente: **Alessandro Vanelli-Coralli ric.**

Segnali e loro elaborazione. Sistemi e reti di telecomunicazione. Organismi normativi internazionali. Aspetti economici e prospettive di sviluppo.

Analisi dei segnali determinati tempo-continui e tempo-discreti nel dominio delle frequenze (analisi di Fourier) e nel dominio dei tempi (mediante funzioni impulsive). Loro applicazioni allo studio dei sistemi lineari.

Segnali ad energia finita, a potenza finita. Spettro di energia, spettro di potenza.

Segnali analogici e segnali numerici in banda base. Diverse tecniche numeriche di codifica e di compressione dei segnali e relativi standard. Multimedialità. Information and Communication Technology (ICT).

**Bibliografia**

LEONARDO CALANDRINO, MARCO CHIANI, *Quaderni di comunicazioni elettriche*, Pitagora editrice, Bologna.

**COMUNICAZIONI ELETTRICHE LB****CE, cds: dut, dui, dul**Docente: **Marco Chiani** prof. straord.

Processi aleatori. Stazionarietà, ergodicità. Processi gaussiani. Ciclostazionarietà e cicloergodicità. Processi PAM aleatori.

Segnali e sistemi passa-banda (Teoria della modulazione). Diverse leggi di modulazione di una portante sinusoidale. Sistemi di modulazione multiportante.

Il rumore di fondo negli apparati. Il canale AWGN. Effetti del rumore sulla qualità del segnale ricevuto. Cenni sui sistemi di trasmissione in banda base e passa-banda (radiocollegamenti e fibre ottiche). Elementi di Teoria dell'Informazione: entropia di sorgente, capacità di canale, codifica di sorgente e di canale.

**Bibliografia obbligatoria**

LEONARDO CALANDRINO, MARCO CHIANI, *Quaderni di comunicazioni elettriche*, Pitagora editrice, Bologna.

**COMUNICAZIONI ELETTRICHE LB****BO, cds: T**Docente: **Leonardo Calandrino** prof. ord.

Processi aleatori. Stazionarietà, ergodicità. Processi gaussiani. Ciclostazionarietà e cicloergodicità. Processi PAM aleatori.

Segnali e sistemi passa-banda (Teoria della modulazione). Diverse leggi di modulazione di una portante sinusoidale. Sistemi di modulazione multiportante.

Il rumore di fondo negli apparati. Il canale AWGN. Effetti del rumore sulla qualità del segnale ricevuto. Cenni sui sistemi di trasmissione in banda base e passa-banda (radiocollegamenti e fibre ottiche). Elementi di Teoria dell'Informazione: entropia di sorgente, capacità di canale, codifica di sorgente e di canale.

**Bibliografia obbligatoria**

LEONARDO CALANDRINO, MARCO CHIANI, *Quaderni di comunicazioni elettriche*, Pitagora editrice, Bologna.

**COMUNICAZIONI ELETTRICHE LB****BO, cds: L**Docente: **Davide Dardari** ric.

Processi aleatori. Stazionarietà, ergodicità. Processi gaussiani. Ciclostazionarietà e cicloergodicità. Processi PAM aleatori.

Teoria della modulazione (segnali e sistemi passa-banda). Diversi schemi di modulazione di una portante sinusoidale.

Il rumore di fondo negli apparati. Il canale AWGN. Effetti del rumore sulla qualità del segnale ricevuto.

Introduzione ai sistemi di trasmissione in banda base e passa-banda.

Elementi di Teoria dell'Informazione: entropia di sorgente, capacità di canale, codifica di sorgente e di canale.

### *Bibliografia obbligatoria*

LEONARDO CALANDRINO, MARCO CHIARI, *Quaderni di comunicazioni elettriche*, Pitagora editrice, Bologna.

## **CONSOLIDAMENTO DEGLI EDIFICI I**

**CE, cds: dud**

Docente: **Giovanni Ricci Bitti ric.**

### *Sommario*

Il corso intende fornire una panoramica sulle problematiche del consolidamento degli edifici partendo dall'individuazione del dissesto statico e delle sue cause, per arrivare alle metodologie di consolidamento ed alle tecniche che sono d'impiego comune nella pratica corrente.

La trattazione è svolta con riferimento a casi concreti, evidenziando di volta in volta le motivazioni che consentono di scegliere la strategia operativa più efficiente per il caso in esame.

Il corso richiede conoscenze di Scienza e Tecnica delle Costruzioni riferite all'elasticità lineare, analisi di sistemi di aste, strutture d'acciaio e di calcestruzzo, resistenza dei materiali, stabilità delle colonne, del livello di quelle fornite dai corsi di Laurea impartiti nei precedenti semestri.

Completano i contenuti del corso alcuni temi monografici riferiti a casi reali, trattati da esperti del settore che svolgono attività progettuale.

### *Scopo del corso*

Il corso fornisce una formazione di base che può essere di guida nella comprensione dell'iter progettuale di interventi di riparazione o consolidamento strutturale, nonché spunti per l'approfondimento di tematiche che possono costituire il punto di partenza per l'attività professionale nel campo dell'edilizia storica.

### *Argomenti trattati*

- brevi cenni sulle tipologie costruttive di edifici storici in muratura, legno, acciaio e misti,
- evidenze di stato di sofferenza della costruzione: quadri fessurativi, cedimenti, danno strutturale e interpretazione delle cause,
- i sistemi di monitoraggio delle costruzioni: determinazione della geometria, dei parametri meccanici, dello stato di sforzo, e controllo nel tempo dell'evoluzione,
- il quadro concettuale per la scelta di un sistema di eliminazione dello stato di danneggiamento,
- la ricostituzione della forma e resistenza di un organismo strutturale: metodi per la riparazione,
- modificazione dell'organismo strutturale ed interventi connessi,
- incremento della capacità resistente di una struttura: miglioramento e adeguamento statico,
- tecniche di riparazione e miglioramento basate sull'impiego di materiali e procedure innovative.

**Bibliografia**

Gli argomenti del corso possono essere approfonditi con l'ausilio di libri sull'argomento e con dispense fornite dal Docente. Una bibliografia iniziale è la seguente:

SARA' G., (1995), *Restauro Strutturale*, Ed. Liguori, Napoli.

Consorzio CREA (1991), *L'acciaio nel Recupero Edilizio e nel Restauro*, Massa.

GIORDANO G., (1997), *Tecnica delle Costruzioni in Legno*, UTET, Torino.

TASSIOS, T., (1995), *Meccanica delle Murature*, Ed. Liguori.

**CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI****BO, cds: R, C**

Docente: **Guido Gottardi** prof. ass.

Richiami di geotecnica: moti di filtrazione nei mezzi porosi, processi di consolidazione, resistenza al taglio delle terre. Indagini, prove e misure geotecniche in sito. Classificazione dei metodi di consolidamento dei terreni. Interventi di tipo meccanico: compattazione superficiale e addensamento in profondità, vibroflottazione. Interventi di tipo idraulico: preconsolidazione mediante precarichi, con e senza dreni verticali, teoria della consolidazione radiale, consolidazione elettro-osmotica, abbassamento di falda (dewatering). Interventi di tipo chimico-fisico: miscelatura con additivi, stabilizzazione superficiale e profonda, le iniezioni, stabilizzazione termica mediante cottura e congelamento. Interventi di rinforzo per inclusione: interazione terreno-rinforzi, terre armate, metodi di progetto delle opere di sostegno in terra rinforzata, geosintetici con funzione di rinforzo.

Interventi di stabilizzazione dei pendii: classificazione dei movimenti franosi, glossario internazionale per le frane, analisi di stabilità dei pendii, principi e metodi di intervento.

Consolidamento delle rocce: classificazione degli ammassi rocciosi, resistenza al taglio dei giunti, analisi di stabilità delle scarpate in roccia, proiezioni stereografiche, interventi di stabilizzazione mediante ancoraggi.

**Testi consigliati:****Appunti e Dispense delle lezioni.**

P. COLOMBO e F. COLLESELLI, *Elementi di Geotecnica*, Zanichelli, 1996.

M.R. HAUSMANN, *Engineering Principles of Ground Modification*, McGraw-Hill, 1990.

F.G. BELL, *Engineering Treatment of Soils*, Spon, 1993.

**CONTROLLI AUTOMATICI****BO, cds: M**

Docente: **Maria Elisabetta Penati** ric.

**Programma****1 - Generalità:**

- Cenni storici. Che cos'è l'automazione
- Esempi di controlli automatici. Manipolazione materiale e manipolazione simbolica
- Richiami di informatica: dispositivi di calcolo e loro uso nell'automazione.

**2 - Modelli matematici:**

- Tecniche di identificazione. Modelli matematici dei sistemi li-neari e stazionari

- Equazioni (e sistemi di equazioni) differenziali; funzione di tra-sferimento funzione di risposta impulsiva.
- 3 - Analisi nel dominio dei tempi:
  - Stabilità, controllabilità e osservabilità
  - Errori a regime
  - Insensibilità ai disturbi ed alle variazioni dei parametri.
- 4 - Sintesi nel dominio dei tempi:
  - Sistemi del primo e del secondo ordine
  - Osservatori dello stato
  - Assegnamento dei poli per sistemi ad un ingresso e ad una uscita (luogo delle radici).
  - Regolatori standard.
- 5 - La funzione di risposta armonica:
  - Definizione e sue rappresentazioni: diagrammi polari, diagrammi di Bode.
  - La formula di Bode.
- 6 - Analisi armonica:
  - Criteri di stabilità. Margini di ampiezza e di fase.
  - Luoghi a M e a N costante, picco di risonanza e larghezza di banda.
- 7 - Sintesi nel dominio delle frequenze:
  - Reti correttive di tipo anticipo, ritardo, anti-cipo-ri-tardo.
- 8 - Componenti dei sistemi di controllo:
  - Motori elettrici in c.c. e in c.a
  - Amplificatori di po-tenza e convertitori statici.
  - Trasduttori.

Esercitazioni: sono inserite nello svolgimento della parte teorica cui si riferiscono.

### Testi consigliati

- G. BERTONI, M.E. PENATI, S. SIMONINI, *I componenti dell'automazione*, Esculapio, Bologna, 2001.
- M.E. PENATI, G. BERTONI, *Automazione e sistemi di controllo*, Vol. I, II, Esculapio, Bologna, 2000.
- M.E., *Controlli automatici. Esercizi e test commentati e risolti*, Esculapio, Bologna, 2000.

Esame: prova scritta e orale.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica, Elettronica.

## CONTROLLI AUTOMATICI L

Docente: **Gianni Bertoni** prof. ord.

**BO, cds: M**

### Programma

- 1 - Generalità:
  - Cenni storici. Che cos'è l'automazione
  - Esempi di controlli automatici. Manipolazione materiale e manipolazione simbolica
- 2 - Modelli matematici:
  - Tecniche di identificazione. Modelli matematici dei sistemi li-neari e stazionari

- Equazioni (e sistemi di equazioni) differenziali; funzione di trasferimento; funzione di risposta impulsiva.
- 3 - Analisi nel dominio dei tempi:
  - Stabilità, controllabilità e osservabilità
  - Errori a regime
  - Insensibilità ai disturbi ed alle variazioni dei parametri.
  - Parametri della risposta ad un ingresso a gradino
- 4 - Sintesi nel dominio dei tempi:
  - Luogo delle radici
  - Regolatori standard
- 5 - La funzione di risposta armonica:
  - Definizione e sue rappresentazioni: diagrammi polari, diagrammi di Bode.
- 6 - Analisi armonica:
  - Criteri di stabilità. Margini di ampiezza e di fase.
  - Luoghi a M e a N costante, picco di risonanza e larghezza di banda.
- 7 - Componenti dei sistemi di controllo:
  - Motori elettrici in c.c. a collettore
  - Sensori e trasduttori

Esercitazioni: sono inserite nello svolgimento della parte teorica cui si riferiscono.

#### Testi consigliati

G. BERTONI, M.E. PENATI, S. SIMONINI, *I componenti dell'automazione*, Esculapio, Bologna, 2001.

M.E. PENATI, G. BERTONI, *Automazione e sistemi di controllo*, Vol. I, II, Esculapio, Bologna, 2000.

M.E., *Controlli automatici. Esercizi e test commentati e risolti*, Esculapio, Bologna, 2000.

*Esame*: prova scritta e orale.

*Propedeuticità consigliate*: Elettrotecnica, Elettronica.

## CONTROLLI AUTOMATICI

BO, cds: G\_Bo

Docente: Umberto Soverini prof. ass.

L'insegnamento ha lo scopo di presentare le caratteristiche dei modelli impiegati per la descrizione matematica dei sistemi dinamici, ne discute le relative proprietà e fornisce gli strumenti fondamentali per la progettazione dei dispositivi di controllo in retroazione.

#### Programma

*Modelli matematici per i sistemi dinamici.* Modelli a tempo continuo ed a tempo discreto, lineari e non lineari, stazionari e non stazionari. Modelli ingresso-uscita ed ingresso-stato-uscita. Modelli equivalenti e modelli ridotti in forma minima.

*Proprietà strutturali dei sistemi dinamici.* Raggiungibilità e controllabilità dello stato. Osservabilità e ricostruibilità dello stato, diagnosi ed incasellamento. Stabilità rispetto a perturbazioni dello stato iniziale e dell'ingresso. Stati di equilibrio. Linearizzazione dei sistemi non lineari.

*Sistemi dinamici lineari e stazionari.* Determinazione del moto e della risposta. Matrice di



transizione e sue proprietà. Modi e loro stabilità. Risposta impulsiva. Passaggio dai modelli continui a quelli discreti. Cambiamenti di base nello spazio degli stati. Riduzione del sistema alla forma minima. Stabilità i.l.s.l. ed i.l.u.s. Assegnabilità degli autovalori con retroazione stato-ingresso ed uscita-ingresso. Osservatori asintotici dello stato. La retroazione dello stato stimato mediante un osservatore.

*Sistemi lineari e stazionari ad un ingresso ed una uscita.* La trasformazione di Laplace e le relative proprietà. Funzioni di trasferimento e schemi a blocchi. Passaggio da un modello ingresso-stato-uscita alla funzione di trasferimento e viceversa. Risposte canoniche. Analisi armonica. Diagrammi di Bode, di Nyquist e di Nichols. Sistemi a fase minima e formula di Bode. Proprietà generali dei sistemi in retroazione. Errori di regime e tipo di sistema. Stabilità dei sistemi in retroazione. Il criterio di Routh, il criterio di Nyquist, il margine di ampiezza e di fase. Il luogo delle radici.

*Progettazione di dispositivi per la correzione della risposta.* Specifiche nel dominio dei tempi e nel dominio delle frequenze. Progetto di reti correttive anticipatrici, ritardatrici, a ritardo ed anticipo. Sintonizzazione dei regolatori standard.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni sono parte integrante dell'Insegnamento e comprendono aspetti elementari di modellistica e l'applicazione delle metodologie fondamentali di analisi e di progetto dei sistemi di controllo, in modo da mettere gli studenti in grado di affrontare i più semplici problemi tecnici relativi all'automazione. E prevista l'utilizzazione di personal computer, con codici di calcolo orientati allo studio dei dispositivi di controllo di maggiore complessità.

#### *Testi consigliati:*

G. MARRO, *Controlli Automatici*, Zanichelli, Bologna, 1992.

B.C. KUO, *Automatic Control Systems*, Prentice Hall, 1987.

## **CONTROLLI AUTOMATICI LA**

Docente: **Elena Zattoni ric.**

**BO, cds: L**

#### *Finalità*

L'insegnamento si propone di presentare i fondamenti della teoria del controllo, specificamente le tecniche di analisi e sintesi sulle quali si basa la progettazione dei sistemi di controllo in retroazione ad una sola variabile controllata.

#### *Programma delle lezioni*

*Concetti fondamentali:* sistema; sistema orientato; sistema inizialmente in quiete; modello matematico statico e dinamico; linearizzazione locale dei modelli statici; definizione di linearità e di stazionarietà; schemi a blocchi; le otto regole di riduzione; controlli ad azione diretta e in retroazione; vantaggi della retroazione in rapporto alla robustezza; modelli dinamici; l'operatore D; esempi di modelli dinamici; le equazioni del motore elettrico in corrente continua con riduttore.

*Metodi di analisi dei sistemi dinamici lineari:* l'equazione differenziale lineare a coefficienti costanti; condizione di realizzabilità fisica; moto libero e moto forzato; trasformata di Laplace; condizioni per la trasformabilità di una funzione del tempo; teorema di convergenza; linearità della trasformata di Laplace; trasformate di Laplace notevoli; teoremi sulle trasformate; soluzione delle equazioni differenziali con condizioni iniziali; funzione di trasferimento; esempio: gruppo Ward-Leonard; antitrasformazione di funzioni razionali: poli semplici (reali o complessi)

e poli multipli; valutazione grafica dei residui; modi; risposte canoniche; impulso di Dirac; integrali di convoluzione o di Duhamel; esempi relativi a sistemi a costanti distribuite e a sistemi non stazionari; parametri della risposta al gradino del sistema del secondo ordine; coefficiente di smorzamento e pulsazione naturale e loro dipendenza dalla posizione dei poli; calcolo della massima sovraelongazione della risposta al gradino e del tempo di assestamento.

**Analisi armonica:** funzione di risposta armonica e suo legame con la funzione di trasferimento; risposta all'impulso dalla risposta armonica; diagrammi di Bode; costruzione dei diagrammi di Bode per somma di diagrammi elementari; approssimazioni asintotiche dei termini del primo e del secondo ordine; pulsazione di risonanza e picco di risonanza dei sistemi del secondo ordine; valutazione grafica della funzione di risposta armonica; formula di Bode e sua applicazione ai diagrammi approssimati con una spezzata; esempi di sistemi ai quali essa non si può applicare; diagrammi polari e loro comportamento asintotico; diagrammi di Nichols.

**Stabilità e sistemi in retroazione:** stabilità a seguito di perturbazioni; stabilità ingresso limitato / uscita limitata; condizione necessaria e sufficiente per tale stabilità; equivalenza alla stabilità asintotica; criterio di Routh; procedure per trattare i casi singolari; deduzione dei campi di stabilità in  $K$ ; sistemi in retroazione: sensibilità alle variazioni parametriche, sensibilità ai disturbi e banda passante; errori a regime in risposta ai segnali tipici per sistemi con retroazione unitaria e con retroazione dinamica generica; criterio di Nyquist: enunciato per sistemi stabili ad anello aperto e per sistemi instabili ad anello aperto; sistemi a stabilità condizionata; margini di ampiezza e di fase e loro determinazione nei diagrammi di Nyquist, nei diagrammi di Bode e nei diagrammi di Nichols; sistemi con ritardi finiti: studio della stabilità con il criterio di Nyquist; regolatore per sistema con ritardo finito predominante sulle costanti di tempo; luoghi ad  $M$  costante e ad  $N$  costante nei diagrammi di Nyquist; estensione al caso di sistemi con retroazione non unitaria; determinazione della pulsazione e del picco di risonanza e della banda passante (sistemi di tipo 1 e di tipo 0).

**Sintesi indiretta:** dati di specifica e loro compatibilità; compensazioni ad azione diretta; reti correttrici: integratrice, derivatrice, ritardatrice, anticipatrice, a ritardo e anticipo, a  $T$  ponticellato: diagrammi di Bode e polari; diagrammi polari a forma di circonferenza; compensazione con reti ritardatrici: diagrammi di Bode, diagrammi di Nichols (formule di inversione); compensazione con reti anticipatrici: diagrammi di Bode, diagrammi di Nichols (formule di inversione), cancellazione polo-zero; formule di inversione; uso della rete a ritardo e anticipo; uso della rete a  $T$  ponticellato; regolatori standard: parametri per la sintesi semiempirica di Ziegler-Nichols; retroazione tachimetrica: progetto con ripresa del guadagno statico per mantenere invariata la costante di velocità; uso delle formule di inversione con i diagrammi di Bode.

**Sintesi diretta:** progetto analitico; vincoli; estensione al caso di retroazione non unitaria; funzione di sensibilità ai disturbi; uso dei filtri di Butterworth e di Bessel; estensione al caso di sistemi di tipo 2; estensioni ai casi di sistemi instabili, a fase non minima e con ritardi finiti; allocazione dei poli ad anello chiuso con l'equazione diofantea.

### **Esercitazioni al calcolatore**

Le esercitazioni in laboratorio vertono sulla progettazione assistita di sistemi di controllo in retroazione a una sola variabile controllata. In particolare, l'utilizzo di TFI, che consiste in una raccolta di programmi in Matlab, consente un'agevole elaborazione delle funzioni di trasferimento e rende accessibile le principali procedure matematiche e grafiche per lo studio dei sistemi di controllo.

### **Testi adottati**

G. MARRO, *Controlli automatici*, quarta edizione riveduta e ampliata, Zanichelli, Bologna, 1997.

G. MARRO, *TFI: insegnare e apprendere i controlli automatici di base con Matlab*, Zanichelli, Bologna, 1998.

#### **Altro materiale didattico**

Dispense distribuite dal docente.

#### **Modalità d'esame**

L'esame consiste in una prova scritta e una prova orale: l'ammissione all'orale è subordinata al superamento dello scritto.

### **CONTROLLI AUTOMATICI LS**

**BO, cds: E**

Docente: **Elena Zattoni ric.**

#### **Finalità**

L'insegnamento si propone di presentare le principali metodologie di sintesi sulle quali si basa la progettazione dei sistemi di controllo in retroazione ad una sola variabile controllata. Si prenderanno in considerazione in particolare i sistemi lineari e stazionari sia a tempo continuo sia a tempo discreto. Si forniranno inoltre le tecniche basilari per l'analisi dei sistemi in retroazione non lineari.

#### **Programma delle lezioni**

##### **Sistemi lineari e stazionari a tempo continuo**

*Sintesi indiretta:* dati di specifica e loro compatibilità; compensazioni ad azione diretta; reti correttive: integratrice, derivatrice, ritardatrice, anticipatrice, a ritardo e anticipo, a T ponticellato; diagrammi di Bode e polari; diagrammi polari a forma di circonferenza; compensazione con reti ritardatrici: diagrammi di Bode, contorno delle radici, diagrammi di Nichols (formule di inversione); compensazione con reti anticipatrici: diagrammi di Bode, contorno delle radici, diagrammi di Nichols (formule di inversione), cancellazione polo-zero; formule di inversione; uso della rete a ritardo e anticipo; uso della rete a T ponticellato; regolatori standard: parametri per la sintesi semiempirica di Ziegler-Nichols; retroazione tachimetrica: progetto con ripresa del guadagno statico per mantenere invariata la costante di velocità e relativo contorno delle radici; uso delle formule di inversione con i diagrammi di Bode.

*Sintesi diretta:* progetto analitico; vincoli; estensione al caso di retroazione non unitaria; funzione di sensibilità ai disturbi; uso dei filtri di Butterworth e di Bessel; estensione al caso di sistemi di tipo 2; estensioni ai casi di sistemi instabili, a fase non minima e con ritardi finiti; allocazione dei poli ad anello chiuso con l'equazione diofantea.

*Realizzazione di funzioni di trasferimento:* grafi di flusso di segnale; le cinque regole di riduzione; la formula di Mason; realizzazione parallela di funzioni di trasferimento; amplificatore operazionale; connessioni fondamentali: deduzione delle funzioni di trasferimento in base alla condizione di cortocircuito virtuale degli ingressi e non; connessioni fondamentali di tipo invertente: reti correttive e regolatori standard; connessioni fondamentali di tipo non invertente: reti correttive, rete anticipatrice con ripresa del guadagno statico, amplificatore in alternata, regolatore PI.

##### **Sistemi lineari e stazionari a tempo discreto**

*I segnali campionati:* generalità sul controllo digitale; la trasformata Z; antitrasformazione delle funzioni razionali; corrispondenza fra il piano s e il piano z; i principali teoremi sulla trasformata Z; approssimazioni discrete di derivate e integrali.

*I sistemi a tempo discreto:* la funzione di trasferimento discreta  $G(z)$ ; stabilità dei sistemi a

tempo discreto; alcune realizzazioni di  $G(z)$ ; la funzione di trasferimento del sistema controllato; la trasformata  $Z$  modificata; la funzione di risposta armonica discreta; l'ondulazione introdotta dai dispositivi di tenuta.

*I controlli digitali:* errori a regime nella risposta ai segnali tipici; il criterio di Nyquist; la sintesi nel piano  $w$ ; il luogo delle radici; i regolatori standard; il progetto analitico dei regolatori digitali.

#### **Sistemi in retroazione non lineari**

*Sistemi in retroazione non lineari:* costruzione grafica per la determinazione del punto di equilibrio; definizione ed uso della funzione descrittiva; condizioni per l'insorgere di oscillazioni autosostenute stabili e instabili; funzione descrittiva della saturazione; esempio di impiego; soglia; soglia con saturazione; saturazione non netta; relé ideale; relé con soglia; relé con isteresi; gioco; funzione descrittiva per non linearità asimmetriche e suo uso quando il riferimento non sia nullo; criterio del cerchio; criterio di Popov; uso del criterio di Popov per dedurre intervalli di stabilità in funzione dell'ingresso di riferimento; procedimento grafico per lo studio dei sistemi a relé; formule per l'ampiezza e il periodo delle oscillazioni; isteresi negativa; linearizzazione dei sistemi a relé con il metodo della vibrazione imposta o parzializzazione.

#### **Esercitazioni al calcolatore**

Le esercitazioni in laboratorio vertono sulla progettazione assistita di sistemi di controllo in retroazione a una sola variabile controllata. In particolare, l'utilizzo di *TFI*, che consiste in una raccolta di programmi in Matlab, consente un'agevole elaborazione delle funzioni di trasferimento e rende accessibile le principali procedure matematiche e grafiche per lo studio dei sistemi di controllo.

#### **Testi adottati**

G. MARRO, *Controlli automatici*, quarta edizione riveduta e ampliata, Zanichelli, Bologna, 1997.  
G. MARRO, *TFI: insegnare e apprendere i controlli automatici di base con Matlab*, Zanichelli, Bologna, 1998.

#### **Altro materiale didattico**

Dispense distribuite dal docente.

#### **Modalità d'esame**

L'esame consiste in una prova scritta e una prova orale: l'ammissione all'orale è subordinata al superamento dello scritto.

## **CONTROLLI AUTOMATICI II**

Docente: **Giovanni Marro** prof. ord.

**BO, cds: I**

L'insegnamento tratta gli aspetti fondamentali del controllo dei sistemi multivariabili. Il problema del progetto di dispositivi di controllo per sistemi dinamici a più ingressi e più uscite è affrontato sia in ambiente deterministico (cioè nel caso in cui il sistema da controllare e le misure disponibili siano sostanzialmente esenti da disturbi) sia in ambiente stocastico (cioè quando ingressi e misure presentino componenti non trascurabili di tipo aleatorio).

#### **Programma:**

1. Richiami sui modelli matematici nello spazio degli stati sia a tempo continuo sia a tempo discreto. Il problema del controllo e quello dell'osservazione dello stato. Condizionamento nu-

merico di una trasformazione. Indici di controllabilità e di ricostruibilità. Rappresentazioni particolari rispetto agli ingressi e rispetto alle uscite. Forme canoniche e assegnabilità degli autovalori. Sintesi di osservatori di ordine pieno e di ordine ridotto. Proprietà di un sistema dinamico chiuso in retroazione tramite un suo dispositivo osservatore. Regolazione con retroazione delle uscite.

2. Approccio geometrico allo studio dei sistemi lineari. Invarianti controllati e condizionati. Le proprietà fondamentali dei sistemi lineari stazionari: invertibilità destra e sinistra, grado relativo e zeri invarianti. Il problema della localizzazione dei disturbi, dei segnali misurabili e dei segnali preconosciuti. Il progetto analitico dei sistemi in retroazione multivariabili.

3. Il controllo ottimo in catena aperta. Richiami di programmazione matematica e di calcolo delle variazioni. La teoria di Eulero-Lagrange. Il principio del massimo di Pontryagin. Applicazioni.

4. Il controllo ottimo in retroazione. Regolazione ed inseguimento a orizzonte finito con retroazione dello stato. Regolazione a orizzonte infinito. Regolazione stazionaria. Margine di stabilità. Regolazione con specifiche formulate nel dominio delle frequenze. Il controllo integrale.

5. Il problema della stima ottima dello stato in ambiente stocastico. Richiami di teoria della probabilità. Modelli matematici dei processi stocastici. Il filtro di Kalman. Regolazione ottima con retroazione delle misure. Dualità fra controllo ottimo e stima ottima con estensione al caso frequency-shraped.

6. Esercitazioni al calcolatore sugli argomenti precedenti.

L'esame consiste in una prova scritta e una orale.

#### Bibliografia:

Fotocopie di materiale didattico fornito dal docente.

M. TIBALDI, *Progetto di sistemi di controllo*, Pitagora, Bologna, 1995.

G. MARRO, *Complementi di Controlli Automatici*, Zanichelli, Bologna, 1994.

G. MARRO, *Teoria dei Sistemi e del Controllo*, Zanichelli, Bologna, 1999.

*Propedeuticità*: nozioni elementari di Analisi dei sistemi e Teoria del Controllo.

*Tesi di laurea*: analisi dei sistemi dinamici e progetto di sistemi di controllo.

## CONTROLLI AUTOMATICI II

BO, cds: N

Docente: **Maria Elisabetta Penati ric.**

1 - Sintesi nel dominio dei tempi:

- Sistemi del primo e del secondo ordine
- Osservatori dello stato
- Assegnamento dei poli per sistemi ad un ingresso e ad una uscita
- Regolatori standard.

2 - Sintesi nel dominio delle frequenze:

- Reti correttrici di tipo anticipo, ritardo, anticipo-ritardo.

3 - Componenti dei sistemi di controllo:

- Motori elettrici in c.c. a commutazione elettronica e in c.a.
- Amplificatori di potenza e convertitori statici.
- Trasduttori.

*Esercitazioni*: sono inserite nello svolgimento della parte teorica cui si riferiscono.

**Testi consigliati**

- 1) G. BERTONI, M.E. PENATI, S. SIMONINI, *I componenti dell'automazione*. Esculapio, Bologna, 2001.
- 2) M.E. PENATI, G. BERTONI, *Automazione e sistemi di controllo – Vol. I, II*. Esculapio, Bologna, 2000.
- 3) M.E. *Controlli automatici, Esercizi e test commentati e svolti*. Esculapio, Bologna, 2000.

**Esame:** prova orale.

**Propedeuticità consigliate:** Elettrotecnica, Elettronica.

**CONTROLLI AUTOMATICI I**

FO, cds: cla

**Docente:** Gianni Bertoni prof. ord.

**1 – Generalità:**

- Cenni storici. Che cos'è l'automazione
- Esempi di controlli automatici. Manipolazione materiale e manipolazione simbolica
- Richiami di informatica: dispositivi di calcolo e loro uso nell'automazione.

**2 – Modelli matematici:**

- Tecniche di identificazione. Modelli matematici dei sistemi lineari e stazionari
- Equazioni (e sistemi di equazioni) differenziali; funzione di trasferimento funzione di risposta impulsiva.

**3 – Analisi nel dominio dei tempi:**

- Stabilità, controllabilità e osservabilità
- Errori a regime
- Insensibilità ai disturbi ed alle variazioni dei parametri.

**4 – Sintesi nel dominio dei tempi:**

- Sistemi del primo e del secondo ordine
- Osservatori dello stato
- Assegnamento dei poli per sistemi ad un ingresso e ad una uscita (luogo delle radici).
- Regolatori standard.

**5 – La funzione di risposta armonica:**

- Definizione e sue rappresentazioni: diagrammi polari, diagrammi di Bode.
- La formula di Bode.

**6 – Analisi armonica:**

- Criteri di stabilità. Margini di ampiezza e di fase.
- Luoghi a M e a N costante, picco di risonanza e larghezza di banda.

**7 – Sintesi nel dominio delle frequenze:**

- Reti correttive di tipo anticipo, ritardo, anticipo-ritardo.

**8 – Componenti dei sistemi di controllo:**

- Motori elettrici in c.c. e in c.a
- Amplificatori di potenza e convertitori statici
- trasduttori

**Esercitazioni:** sono inserite nello svolgimento della parte teorica cui si riferiscono.

**Testi consigliati**

- 1) G. BERTONI, M.E. PENATI, S. SIMONINI, *I componenti dell'automazione*. Esculapio, Bologna, 2001.

- 2) M.E. PENATI, G. BERTONI, *Automazione e sistemi di controllo – Vol.I, II*. Esculapio, Bologna, 2000.  
3) M.E: *Controlli automatici. Esercizi e test commentati svolti*. Esculapio, Bologna, 2000.

*Esame*: prova orale.

*Propedeuticità consigliate*: Elettrotecnica, Elettronica.

**CONTROLLI AUTOMATICI L**  
**CONTROLLI AUTOMATICI (sem.)**

**BO, cds: E**

**BO, cds: N**

Docente: **Maria Elisabetta Penati ric.**

1 – Generalità:

- Cenni storici. Che cos'è l'automazione
- Esempi di controlli automatici. Manipolazione materiale e manipolazione simbolica

2 – Modelli matematici:

- Tecniche di identificazione. Modelli matematici dei sistemi lineari e stazionari
- Equazioni (e sistemi di equazioni) differenziali; funzione di trasferimento funzione di risposta impulsiva.

3 – Analisi nel dominio dei tempi:

- Stabilità, controllabilità e osservabilità
- Errori a regime
- Insensibilità ai disturbi ed alle variazioni dei parametri.
- Parametri della risposta ad un ingresso a gradino

4 – Sintesi nel dominio dei tempi:

- Luogo delle radici
- Regolatori standard.

5 – La funzione di risposta armonica:

- Definizione e sue rappresentazioni: diagrammi polari, diagrammi di Bode.

6 – Analisi armonica:

- Criteri di stabilità. Margini di ampiezza e di fase.
- Luoghi a M e a N costante, picco di risonanza e larghezza di banda.

7 – Componenti dei sistemi di controllo:

- Motori elettrici in c.c. a collettore

*Esercitazioni*: sono inserite nello svolgimento della parte teorica cui si riferiscono.

*Testi consigliati*

- 1) G. BERTONI, M.E. PENATI, S. SIMONINI, *I componenti dell'automazione*. Esculapio, Bologna, 2001.  
2) M.E. PENATI, G. BERTONI, *Automazione e sistemi di controllo – Vol.I, II*. Esculapio, Bologna, 2000.  
3) M.E: *Controlli automatici*. Esculapio, Bologna, 2000

*Esame*: prova scritta e orale.

*Propedeuticità consigliate*: Elettrotecnica.

**CONTROLLI AUTOMATICI LA**

BO, cds: I, A

Docente: **Alberto Tonielli** prof. straord.*Finalità del corso*

Il corso si prefigge di fornire allo studente una conoscenza di base sui metodi di modellistica ed analisi dei sistemi dinamici lineari in retroazione.

L'enfasi è posta prevalentemente sulla comprensione dei concetti base di sistema e di modello, delle loro proprietà e dei metodi per analizzarle.

*Programma***Concetti base del controllo**

Controllo manuale, controllo automatico. Tipologie di controllo: in catena aperta, in retroazione. Proprietà dei sistemi in retroazione: stabilità, robustezza alle variazioni dei parametri, insensibilità ai disturbi.

Parti componenti di un sistema controllato in retroazione: l'impianto, i sensori, il dispositivo di controllo, gli attuatori.

**Sistemi e modelli**

Segnali e modelli come rappresentazione formale di grandezze fisiche e sistemi.

Tipologie ed uso di segnali e modelli.

Modelli integro-differenziali di sistemi elementari e complessi elettrici, meccanici, idraulici, termici. Analogie tra diversi domini fisici.

Modelli statici e dinamici, modelli per il controllo.

**Analisi dei sistemi**

Strumenti matematici per la descrizione dei sistemi lineari: dalle equazioni differenziali alle funzioni di trasferimento. La trasformata di Laplace. Poli e zeri della funzione di trasferimento.

Analisi nel dominio del tempo: stato, modi, equilibrio. Sistemi del primo e del secondo ordine, risposte indiciali, ruolo degli zeri.

Analisi nel dominio delle frequenze. La trasformata di Fourier di segnali, la funzione di risposta armonica. I diagrammi di Bode e di Nyquist.

Analisi dei sistemi in retroazione. Margine di ampiezza e margine di fase, stabilità. Criterio di Nyquist, criterio di Bode, luogo delle radici.

Introduzione a strumenti di CAD per l'analisi: Matlab e Simulink.

**Analisi dei sistemi in retroazione**

Funzioni di sensitività, di sensitività complementare, di sensitività del controllo. Definizione delle specifiche: stabilità, robustezza, specifiche statiche, specifiche dinamiche. Specifiche nel dominio dei tempi e nel dominio delle frequenze. Relazioni tra le caratteristiche della funzione di trasferimento ad anello aperto ed il comportamento del sistema in retroazione.

**CONTROLLI AUTOMATICI LB**

BO, cds: I, A

Docente: **Alberto Tonielli** prof. straord.*Finalità del corso*

Il corso si prefigge di fornire allo studente una conoscenza di base sui concetti, i metodi, e le tecnologie dei sistemi di controllo automatico.



Obiettivo didattico complessivo dei due corsi di Controlli Automatici (LA ed LB) è quello di mettere lo studente nelle condizioni di analizzare e progettare semplici sistemi di controllo per impianti lineari ad un ingresso ed una uscita.

### *Programma*

#### **Introduzione al progetto di sistemi di controllo**

Controllo in catena aperta ed in retroazione: analisi e proprietà. Esempio di progetto di sistema di controllo. Progetto analitico: illustrazione del metodo ed analisi critica.

#### **Sintesi di semplici regolatori standard**

Regolatori standard: reti correttive, regolatori PID. Metodi di taratura dei regolatori standard. Antisaturazione in presenza di azioni integrali. Discretizzazione di semplici regolatori. Il progetto del regolatore sui diagrammi di Bode e mediante il luogo delle radici.

#### **Schemi di controllo più avanzati**

Controllo in cascata, precompensazione del riferimento, azioni di controllo in catena aperta, predittore di Smith per sistemi con ritardo. Controllo di posizione di un apparato meccanico.

#### **Studio di alcuni problemi di controllo più complessi**

Sistemi con ritardo e sistemi con poli complessi poco smorzati.

Nello svolgimento del corso si farà ampio uso di strumenti di CAD specializzati (Matlab, Simulink), che verranno adeguatamente illustrati agli studenti. Per concretizzare l'apprendimento dei concetti sviluppati viene proposto agli studenti lo svolgimento, a gruppi, di semplici progetti di sistemi di controllo utilizzando gli strumenti di CAD sopracitati, con la redazione di una sintetica relazione finale che sarà discussa in sede di esame.

#### *Testi di riferimento:*

G. MARRO, *Controlli Automatici*, Zanichelli Editore, Bologna.

P. BOLTZERN, R. SCATTOLINI, N. SCHIAVONI, *Fondamenti di Controlli Automatici*, Mc Graw-Hill.

## **CONTROLLI AUTOMATICI LS**

**FO, cds: clm**

Docente: **Gianni Bertoni** prof. ord.

### *Programma*

#### 1 - Generalità:

- Cenni storici. Che cos'è l'automazione
- Esempi di controlli automatici. Manipolazione materiale e manipolazione simbolica

#### 2 - Modelli matematici:

- Tecniche di identificazione. Modelli matematici dei sistemi lineari e stazionari
- Equazioni (e sistemi di equazioni) differenziali; funzione di trasferimento funzione di risposta impulsiva.

#### 3 - Analisi nel dominio dei tempi:

- Stabilità, controllabilità e osservabilità
- Errori a regime
- Insensibilità ai disturbi ed alle variazioni dei parametri.

- Parametri della risposta ad un ingresso a gradino
- 4 - Sintesi nel dominio dei tempi:
  - Luogo delle radici
  - Regolatori standard.
- 5 - La funzione di risposta armonica:
  - Definizione e sue rappresentazioni: diagrammi polari, diagrammi di Bode.
- 6 - Analisi armonica:
  - Criteri di stabilità. Margini di ampiezza e di fase.
  - Luoghi a M e a N costante, picco di risonanza e larghezza di banda.
- 7 - Componenti dei sistemi di controllo:
  - Motori elettrici in c.c. a collettore
  - Sensori e trasduttori

*Esercitazioni:* sono inserite nello svolgimento della parte teorica cui si riferiscono.

### *Testi consigliati*

G. BERTONI, M.E. PENATI, S. SIMONINI, *I componenti dell'automazione*, Esculapio, Bologna, 2001.

M.E. PENATI, G. BERTONI, *Automazione e sistemi di controllo*, Vol. I, II. Esculapio, Bologna, 2000.

M.E. *Controlli automatici. Esercizi e test commentati e risolti*. Esculapio, Bologna, 2000.

*Esame:* prova orale.

*Propedeuticità consigliate:* Elettrotecnica, Elettronica.

## **CONTROLLO AUTOMATICO DEL VOLO LS**

**FO, cds: cla**

**Docente: Paolo Castaldi ric.**

L'insegnamento tratta gli aspetti fondamentali del controllo ottimo e del progetto degli autopiloti. La prima parte dell'insegnamento affronta il problema del progetto di dispositivi di controllo per sistemi dinamici a più ingressi e più uscite (MIMO) sia in ambiente deterministico (cioè nel caso in cui il sistema da controllare e le misure disponibili siano sostanzialmente esenti da disturbi) sia in ambiente stocastico (cioè quando ingressi e misure presentino componenti non trascurabili di tipo aleatorio).

Nella seconda parte dell'insegnamento vengono fornite le metodologie per il progetto degli autopiloti per la dinamica latero-direzionale e longitudinale e per la stima dell'assetto e delle caratteristiche cinematiche di un velivolo.

### *Parte I 1. Il controllo ottimo in catena aperta:*

Richiami di programmazione matematica e di calcolo delle variazioni. La teoria di Eulero-Lagrange. Il principio del minimo di Pontryagin. Il controllo bang-bang.

### *2. Il controllo ottimo in retroazione:*

2.1. Regolazione ed inseguimento a orizzonte finito con retroazione dello stato. Regolazione stazionaria. Margine di stabilità. Regolazione con specifiche formulate nel dominio delle frequenze.

2.2. Condizionamento numerico di una trasformazione. Indici di controllabilità e ricostruibilità.

lità. Forme canoniche minime e non minime di sistemi multivariabili. Il problema della stima asintotica dello stato in ambiente deterministico. Dispositivi osservatori. Il metodo dell'assegnamento dei poli per la soluzione del problema dell'osservatore deterministico. Osservatori adattativi per la stima contemporanea dello stato e dei parametri di un sistema dinamico in ambiente deterministico: l'osservatore di Kreisselmeier. Proprietà di un sistema dinamico chiuso in retroazione tramite un suo dispositivo osservatore. Regolazione con retroazione delle misure.

2.3. Il problema della stima ottima dello stato in ambiente stocastico. Richiami di teoria delle probabilità e dei modelli matematici dei processi stocastici. Il filtro di Kalman. Regolazione ottima con retroazione delle misure. Dualità fra controllo ottimo e stima ottima con estensione al caso frequency-shaped.

2.4. Dispositivi di controllo di ordine dinamico limitato. Riduzione dell'ordine dinamico di un modello matematico. Spillovers e compensazione statica.

2.5. Controllo di sistemi a tempo discreto e realizzazione a tempo discreto di dispositivi di controllo per sistemi con modello a tempo continuo.

Parte II 1. *Progetto di autopiloti*: Sistemi di riferimento fissi e mobili. Autopiloti per il controllo della dinamica latero-direzionale e longitudinale.

2. *Stima dell'assetto e delle caratteristiche cinematiche di un velivolo*: Ricostruzione dello stato di un sistema dinamico non lineare in ambiente stocastico. Il Filtro di Kalman Estes. Cenni al filtraggio robusto.

#### *Testi consigliati*

M. TIBALDI, *Progetto dei sistemi di controllo*, Pitagora, Bologna.

M. TIBALDI, *Problemi di controllo*, Pitagora, Bologna.

#### *Esame*

Consiste in una prova scritta ed una orale. In alternativa alla prova scritta è possibile presentare una tesina di approfondimento su un argomento del corso

Propedeuticità consigliate

Controlli Automatici I

*Tesi di Laurea* (da svilupparsi presso i Laboratori di Ingegneria Aerospaziale)

Progetto di autopiloti. Progetto di filtri robusti per la ricostruzione dell'assetto e delle caratteristiche cinematiche di velivoli dell'aviazione generale. Progetto del sistema di navigazione, guida e controllo per veicoli senza pilota (Unmanned Aerial Vehicle).

## **CONTROLLO DEI PROCESSI**

**BO, cds: G\_Bo, L, I, A**

Docente: **Claudio Bonivento** prof. ord.

L'Insegnamento affronta secondo una metodologia sistemistica unitaria i problemi connessi al controllo di processi di una certa complessità quali si incontrano principalmente nelle applicazioni industriali.

Il presupposto tecnico cui si fa costante riferimento è l'uso del calcolatore digitale elettronico.

La linea logica è quella che parte dalla considerazione della necessità di disporre di un modello matematico adeguato del processo per poter impostare il problema (e realizzare le modalità) del suo controllo, mediante un sistema integrato di elaborazione analogicodigitale. L'insegna-

mento si sviluppa quindi considerando la definizione delle proprietà del modello in rapporto alla sua utilizzazione, il ruolo e la struttura dell'elaboratore e delle interfacce calcolatore-processo in rapporto alle prestazioni richieste, la forma degli algoritmi di elaborazione per la determinazione delle variabili manipolabili in rapporto alla complessità e alla dinamica del processo per finire con la descrizione critica di alcuni casi concreti, scelti da diverse aree di applicazione.

A complemento dell'insegnamento, sono inserite alcune lezioni di introduzione alle problematiche dell'automazione dei moderni sistemi flessibili di produzione (FMS) ed in particolare, al controllo dei robot industriali.

### 1. Sistemi integrati per l'automazione industriale

Controllo digitale diretto. Controllo di supervisione e diagnostica. Gerarchie di funzioni. Caratteristiche e prestazioni di un sistema di controllo distribuito. Strumentazione di interfaccia con il processo. Software per il controllo di processo.

### 2. Algoritmi e tecniche di controllo digitale

Progetto di regolatori digitali per discretizzazione di algoritmi analogici. Progetto diretto di regolatori digitali. Problemi dovuti al campionamento. Regolatori standard di tipo PID. Controllo feedforward. Realizzazione degli algoritmi di controllo con microprocessori: problemi di quantizzazione, elaborazione e memorizzazione e criteri di scelta delle caratteristiche hardware/software. Sintesi di regolatori stocastici: filtraggio e predizione ottima basata su modelli ingresso-uscita e su modelli di stato, controllo a minima varianza.

### 3. Modellistica e Identificazione

Definizione, scopo ed utilizzazione dei modelli ai fini del controllo. Modelli matematici parametrici e non parametrici. Linearità nei parametri e nella dinamica. Forme canoniche nello spazio degli stati e forme ingresso-uscita. Modello dei disturbi. Criteri deterministici e statistici per la definizione di un modello. Tecniche numeriche di elaborazione; metodo dei minimi quadrati fuori linea e in linea. Confronto con i metodi di correlazione. Estensioni al caso di parametri lentamente variabili nel tempo. Metodo di massima verisimiglianza.

### 4. Controllo adattativo

Schemi di controllo a modello di riferimento (MRAS) e autosintonizzanti (ST). Sintesi di regolatori ST basati sull'assegnamento di poli e zeri e sul criterio della minima varianza.

### 5. Applicazioni

Controllo di una macchina per la produzione di carta. Il bilancio materiali in impianti petrolchimici. Controllo di temperatura di un reattore chimico. Controllo di posizione di un'antenna. Controllo di movimento di un robot industriale, in posizione e in forza. Illustrazione delle fasi di progetto e di realizzazione di un sistema di controllo adattativo e microprocessore.

### 6. Cenni introduttivi al controllo fuzzy e al controllo a struttura variabile

Principi di funzionamento. Proprietà di robustezza ai disturbi e alle incertezze parametriche. Riferimenti ai prodotti commerciali disponibili. Descrizione di qualche applicazione.

### Testi consigliati:

- 1) Appunti informali del docente.
- 2) C. BONIVENTO, *Identificazione e stima dei sistemi dinamici*, Patron ed., 1976.
- 3) C. BONIVENTO, A. TONIELLI, *Esercizi e programmi Fortran per l'identificazione e la stima dei sistemi dinamici*, Patron ed., 1976.
- 4) C. BONIVENTO, A. TONIELLI, *Note su il calcolatore di processo*, Pitagora ed., 1980.

- 5) C. BONIVENTO, A. TONIELLI, R. ZANASI, *Simulazione di sistemi dinamici con programma MICROSS*, Pitagora ed., Bologna, 1990.

**Esame:** consiste normalmente nella discussione di un progetto (facoltativo) svolto in precedenza dallo studente al calcolatore e/o in domande sulla linea logica della materia svolta (è ammesso consultare i testi per le formule più complesse che si devono richiamare).

**Esercitazioni:** usualmente svolte in aula come parte integrante delle lezioni. In particolare un nucleo di ore è volto all'illustrazione di alcuni pacchetti software utilizzabili per l'applicazione dei principali algoritmi di identificazione e controllo presentati. Gli studenti possono utilizzare tali pacchetti sulle stazioni di lavoro di LAB1 del DEIS per lo sviluppo di progetti consigliati. Sono organizzate visite a gruppi al laboratorio automazione.

**Propedeuticità:** È richiesto avere già nozioni di Controlli Automatici.

**Tesi di Laurea a indirizzo:**

- 1) Metodologico, in particolare con riferimento alle tecniche di identificazione e controllo.
- 2) Applicativo, in particolare con riferimento alla progettazione di sistemi di controllo di specifici processi.

## CONVERSIONE DELL'ENERGIA LS

FO, cds: clm

Docente: Michele Bianchi ric.

**Richiami di termodinamica:** equazione generale del moto dei fluidi in forma meccanica e termica, diagramma entropico, trasformazioni di compressione ed espansione, rendimenti politropico.

**Le fonti di energia primaria:** i combustibili fossili, le biomasse e l'idrogeno.

**Gruppi turbogas complessi (a ciclo rigenerativo, a compressione frazionata interrefrigerata, ad espansione frazionata interriscaldata, a uno o più alberi):** schema di impianto, diagramma entropico, valutazioni energetiche ed economiche, regolazione, influenza delle condizioni ambiente sulle prestazioni e principali strategie di gestione. **Le microturbine a gas:** tipologie e applicazioni.

**Gruppi a vapore:** influenza dei parametri di funzionamento (pressione di condensazione, pressione di vaporizzazione), delle principali scelte progettuali (risurriscaldamento, numero di spillamenti) e delle condizioni ambiente sulle prestazioni. Regolazione dei gruppi a vapore.

**Gruppi a ciclo combinato gas-vapore complessi (con post-combustione, a più livelli, con risurriscaldamento):** schema di impianto, diagramma entropico, valutazioni energetiche ed economiche, regolazione e strategie di gestione.

**Cogenerazione:** indici di valutazione e normative. Analisi dettagliata delle diverse tipologie: gruppo cogenerativo con turbogas a recupero semplice, gruppo cogenerativo a ciclo combinato, gruppo cogenerativo a vapore in controcompressione e in derivazione. La generazione distribuita.

**Gestione energetica ed economica di una o più centrali:** costi fissi e variabili, il mercato elettrico in Italia, il criterio del pari costo incrementale, il load following, il pompaggio e il two-shift operation.

**Emissioni inquinanti nei gruppi per la produzione di energia elettrica e termica:** principali problematiche, sistemi di abbattimento, normativa e unità di misura.

**Celle a combustibile:** principi di funzionamento, tipologie e applicazioni.

**Ripotenziamento di gruppi a vapore esistenti.** Analisi e confronto fra le tipologie più diffuse: hot wind-box repowering, feed water repowering, middle pressure repowering.

**Esame:** Orale

**Testo adottato**

G. NEGRI DI MONTENEGRO, M. BIANCHI, A. PERETTO, *Sistemi Energetici e loro componenti*, Edizioni Pitagora.

## **COSTRUZIONE DI MACCHINE**

**BO, cds: N**

**Docente:** Sergio Curioni prof. ord.

### *Finalità dell'Insegnamento*

Lo scopo dell'Insegnamento è quello di fornire gli strumenti necessari per effettuare il dimensionamento dei componenti meccanici e degli organi di macchine: a tale scopo verranno approfondite le conoscenze sul comportamento dei materiali a sollecitazioni statiche, a fatica e in presenza di difetti, sulle metodologie di calcolo degli organi di macchine e dei componenti meccanici utilizzando anche l'analisi matriciale.

### *Programma*

1. Elementi fondamentali della progettazione meccanica. Le fasi della progettazione. Criteri per la scelta dei processi costruttivi. Fattori di sicurezza, tolleranze, normativa.
2. Principi di base della progettazione meccanica. Problemi staticamente determinati e indeterminati, richiami di geometria delle masse. Stato tensionale e deformativo di una trave, il cerchio di Mohr, il fattore di concentrazione delle tensioni.
3. Materiali utilizzati nelle costruzioni meccaniche e loro terminologia. Tipi di acciai e trattamenti termici relativi, caratteristiche statiche, comportamento a fatica.
4. Carichi variabili. Il fattore di concentrazione delle tensioni a fatica, le curve di fatica di un materiale, danno cumulativo.
5. Fondamenti della meccanica della frattura. Stato tensionale e deformativo all'apice del difetto, considerazioni energetiche, condizioni per l'accrescimento del difetto, caratterizzazione del materiale e prove di laboratorio relative.
6. I criteri di resistenza. Esame critico ed applicazione ai differenti settori delle costruzioni meccaniche. Normativa italiana ed internazionale.
7. Il calcolo matriciale delle strutture per via diretta: analisi di una reticolare e di un telaio. L'equazione di equilibrio dell'elemento strutturale e del sistema. Calcolo manuale ed automatico.
8. Il calcolo matriciale di strutture continue. La formulazione variazionale ed il metodo di Ritz. La formulazione variazionale ed il metodo degli elementi finiti. L'equazione di equilibrio dell'elemento finito e del sistema. Calcolo manuale ed automatico.
9. Lo studio di particolari sistemi: la lastra circolare, il tubo ed i recipienti sferici di grosso spessore, il tubo di piccolo spessore. Determinazione dell'equazione differenziale di equilibrio e soluzione esatta, calcolo approssimato con l'elemento finito. Le tensioni termiche.
10. Collegamenti mediante saldatura, con chiodature, con perni e spine. Differenti forme di giunzione saldate e calcolo della resistenza in condizioni statiche e dinamiche. Calcolo delle chiodature. Sollecitazione nei perni e spine. Normativa.
11. Collegamenti a vite. Calcolo delle forze e rendimento di unavite di lavoro. Sollecitazione e calcolo delle viti di serraggio. Esame e valutazione dei punti critici.

12. Le molle elastiche. Diversi tipi di molle e parametri caratteristici delle molle. Molle sollecitate a trazione-compressione, flessione e torsione. Sollecitazioni ammissibili.

13. Gli alberi di trasmissione. Potenza trasmessa e calcolo delle tensioni. Calcolo degli accoppiamenti per attrito e di forma albero-mozzo. Normativa.

14. Cuscinetti radiali ed assiali. Criteri di scelta dei cuscinetti. Calcolo del carico sopportabile e della vita.

### Bibliografia

G. NIEMANN, *Elementi di macchine*, vol. 1, Ed. Scienza e Tecnica, Milano, 1983.

M.S. SPOTTS, *Design of Machine Elements*, Ed. Prentice-Hall Inc., 1985.

F. CESARI, *Analisi matriciale delle strutture*, Ed. Pitagora, 1994.

F. CESARI, L. MENEGHINI, *Calcolo automatico di telai e strutture piane*, Ed. Pitagora, 1991.

*Esame*: scritto e orale.

### Propedeuticità consigliate

Scienza delle costruzioni, Meccanica applicata alle macchine.

## COSTRUZIONE DI MACCHINE

**BO, cds: M**

Docenti: **Pier Gabriele Molari** prof. ord.

### Scopo del Corso

Fornire metodi per la costruzione delle macchine e dei loro organi.

### Programma

Le macchine e la loro vita.

L'impostazione del progetto.

Metodi di rappresentazione.

Il progetto di una macchina semplice.

Complementi di analisi di stati tensionali e deformativi in organi di macchina.

Il calcolo a resistenza.

Il calcolo ad usura.

Il calcolo a deformazione eccessiva.

Il calcolo ad urto.

Relazione su organo di macchina andato in avaria.

### Modalità d'esame

L'esame consiste in una prova scritta inerente al calcolo ed al dimensionamento di semplici organi meccanici ed in una prova orale su argomenti svolti nel corso delle lezioni e delle esercitazioni.

### Indirizzo delle tesi di laurea

Progetto di gruppi meccanici. Studio di organi di macchina.

### Propedeuticità consigliate

Meccanica applicata alle macchine, Scienza delle costruzioni, Tecnologia meccanica.

**Testi Consigliati**

JUVINALL R., MARSHEK K.M., *Fondamenti della progettazione dei componenti delle macchine*, Edizioni ETS 2001, Pisa.

STROZZI A., *Costruzione di Macchine*, Pitagora Ed. Bologna.

GIOVANNONZI R., *Costruzione di Macchine*, Voll.2 Patron, Bologna.

PILKEY W.D., *Peterson's Stress Concentration Factors*, Ed 2<sup>a</sup> John Wiley & Sons, 1997 New York.

HALL A.S., HOLOWENKO A.R., LAUGHLIN H.G., *Theory and Problems of Machine Design. Costruzione di Macchine*, Schaum's Outline series, McGraw-Hill Book Co. 1961.

Norme UNI-CNR 10011.

ORLOV, *Fundamentals of Machine Design*, Voll.5, Ed. Mir Mosca.

**COSTRUZIONE DI MACCHINE**

BO, cds: G\_Bo

Docente: **Dario Croccolo** prof. ass.**Parte prima: analisi degli equilibri e delle sollecitazioni nei componenti delle macchine**

Generalità sulla progettazione meccanica. Introduzione allo studio di un sistema meccanico. Analisi delle funzioni e relative sottofunzioni, rappresentazione delle relazioni cinematiche e dinamiche tra gli elementi di macchina. Studio degli equilibri tra i corpi rigidi. Lavoro e potenza, trasmissione del moto e dell'energia tra gli elementi. Caratteristiche morfologiche dei componenti meccanici. Analisi dei carichi agenti sui componenti meccanici. Modelli strutturali per l'analisi delle condizioni di carico e degli stati di sollecitazione. Stati di tensione interna. La trazione. La flessione pura. Il taglio. La torsione (travi a sezione circolare, a sezione rettangolare a sezione aperta, a sezione chiusa teoria di Bredt). Rigidezza e deformabilità dei componenti. Concentrazione delle tensioni. Tensioni causate da snervamento. Tensioni termiche. Importanza delle tensioni residue. Instabilità elasto-plastica per carico di punta. Modalità di collasso di componenti meccanici per danneggiamento strutturale: cedimento sotto carichi statici e dinamici. Richiami sui cerchi di Mohr sulle ipotesi di resistenza dei materiali in caso di sollecitazioni di tipo statico. Coefficienti di sicurezza: concetto e definizioni. Coefficienti di sicurezza: scelta dei valori numerici.

**Parte seconda: la fatica**

Concetti di base. La resistenza a fatica nel caso di flessione rotante (prova di Moor). Curve di Wöhler. Resistenza a fatica per flessione alternata. Resistenza a fatica per sforzo normale alternato. Resistenza a fatica per torsione alternata. Influenza del tipo di carico sulla resistenza a fatica. Influenza delle dimensioni sulla resistenza a fatica. Influenza del gradiente delle sollecitazioni sulla resistenza a fatica. Influenza delle finiture superficiali sulla resistenza a fatica. Effetto della tensione media sulla resistenza a fatica. Diagrammi di Goodman-Smith, diagrammi di Haigh. Coefficienti di sicurezza nella sollecitazione a fatica: concetto e definizioni. Effetto delle concentrazioni delle tensioni e del materiale. Ipotesi di resistenza dei materiali in caso di sollecitazioni di tipo dinamico. Effetto dei trattamenti superficiali sulla resistenza a fatica dei componenti.

**Parte terza: applicazioni**

Collegamenti filettati e viti di manovra. Geometria dei filetti, terminologia ed unificazione. Sforzi statici sulle filettature. Sollecitazioni nei bulloni con forze esterne applicate al giunto. Rivetti, saldatura ed incollaggio. Procedimenti di saldatura. Giunti saldati sottoposti a carico assiale



e di taglio. Giunti saldati sottoposti a carico statico torsionale e flettente. Cuscinetti volventi. Tipi di cuscinetti volventi. Progetto dei cuscinetti volventi. Montaggio dei cuscinetti volventi. Scelta dei cuscinetti volventi.

#### Testo adottato

RC. JUVINALL, K.M. MRSHEK, *Fondamenti della progettazione dei Componenti delle Macchine*, Ed. ETS, Pisa, 1993

#### Testi di consultazione

R. GIOVANNOZZI, *Costruzione di macchine*, vol. I e II, Patron, Bologna

NIEMANN/WINTER, *Elementi di macchine*, vol. I, EST Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.

O. BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, Zanichelli Bologna.

### COSTRUZIONE DI MACCHINE II

BO, cds: M

Docente: Francesco Cesari prof. ass.

L'insegnamento si propone l'analisi di alcuni argomenti che fanno da complemento alla costruzione di macchine, dal punto di vista dei fenomeni fisici, della loro modellazione e degli strumenti di lavoro. A tale scopo l'insegnamento si articola come segue.

1. Il calcolo manuale ed automatico nella analisi strutturale. Il calcolo matriciale delle strutture. Studio dei telai. Il metodo degli elementi finiti per l'analisi delle strutture complesse.
2. Dal disegno del componente alla discretizzazione in elementi finiti.
3. Metodi analitici e numerici per lo studio di semplici componenti: recipienti in pressione cilindrici e sferici di grosso spessore, lastre circolari, cilindriche e sferiche. I recipienti in pressione: normativa e progetto.
4. La trave di Eulero-Bernoulli e di Timoshenko. Gli elementi finiti flessionali.
5. Calcolo automatico della distribuzione di temperatura in un componente e relative tensioni termiche, sia in stato stazionario che in transitorio.
6. I materiali anisotropi e compositi. Il comportamento meccanico dei materiali compositi a fibra lunga.
7. Calcolo delle frequenze proprie di alberi di trasmissione. Metodi analitici e numerici.
8. Problemi di non linearità geometrica. La instabilità elastica delle strutture snelle. Soluzioni analitiche e numeriche.
9. Problemi di non linearità materiale: materiali elastici non lineari, elastoplastici, viscoelastici e viscoelastoplastici. L'equazione costitutiva del materiale. Soluzioni analitiche e numeriche.

Il corso prevede esercitazioni in aula per l'impostazione teorica e la modellazione di problemi proposti dal docente ed esercitazioni nel laboratorio di informatica per la realizzazione di fogli di calcolo per la progettazione di semplici componenti e la costruzione e l'utilizzo di programmi "ad hoc" agli elementi finiti.

**Bibliografia**

1. Appunti del docente.
2. F. CESARI, *Calcolo matriciale delle strutture*, Pitagora Ed.
3. F. CESARI, *Calcolo automatico di telai e strutture piane*, Pitagora Ed.
4. G. CALIGIANA, F. CESARI, *Materiali compositi*, Pitagora Ed.

**COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE E ROBOT****BO, cds; M**Docente: **Gabriele Vassura** prof. ass.

*Finalità dell'Insegnamento:* fornire all'allievo una conoscenza dei problemi di progettazione e costruzione delle macchine per l'automazione dei processi discreti; illustrare i mezzi disponibili per la loro soluzione; indicare i criteri per la scelta di tali soluzioni e le modalità per una applicazione ottimale.

Tale scopo è conseguito mediante la trattazione di argomenti specifici inerenti la progettazione di macchine automatiche e non presentati in altri corsi, associata a quella di argomenti propri della progettazione meccanica in generale, dei quali vengono proposti richiami ed approfondimenti finalizzati alla applicazione particolare.

Il programma è articolato in tre parti rispondenti all'esigenza di offrire in un primo tempo una visione globale della macchina automatica come unità avente determinati requisiti economici e funzionali (classificazione; valutazione economica; impostazione generale del progetto di una macchina automatica); di analizzare poi gli elementi costruttivi della macchina, studiandone i problemi di progettazione, costruzione ed installazione (esame dei sistemi di attuazione e comando, con particolare riferimento ai sistemi meccanici di più comune impiego ed ai sistemi oleodinamici e pneumatici); infine di presentare alcune moderne realizzazioni, con particolare riferimento ai robot industriali, di cui saranno esaminati e discussi aspetti costruttivi, funzionali ed applicativi.

Lo svolgimento dell'insegnamento prevede, oltre al normale numero di ore di lezione, alcune ore settimanali di esercitazioni, visite ad industrie del settore, seminari e conferenze.

**Testi consigliati:**

Appunti redatti dal docente.

*Esame orale*, comprensivo della discussione del progetto svolto durante le esercitazioni.

**Propedeuticità consigliate**

Meccanica Applicata alle Macchine, Tecnologia meccanica, Costruzione di macchine.

*Tesi di laurea:* avranno carattere sia di progettazione che di ricerca.

**COSTRUZIONI AERONAUTICHE L**

FO, cds: cla, dua

Docente: Franco Persiani prof. ord.

**PARTE I****Aeronautica generale**

– Definizione dell'architettura degli aeroplani – Geometria dell'ala – Classificazione delle strutture aeronautiche: soluzioni costruttive di ali, fusoliere, velature secondarie, carrelli.

**Analisi tensionale in strutture a pareti sottili**

– Geometria delle masse: baricentri e momenti statici e d'inerzia – Analisi tensionale: sforzo normale, flessione semplice e deviata, taglio in travi a parete sottile e centro di taglio.

**Carichi agenti sul velivolo**

– Definizione dei carichi e del fattore di carico – Carichi dovuti a manovre simmetriche – Definizione del diagramma di manovra – Carichi di bilanciamento statico dell'equilibratore – Carichi di manovra sull'equilibratore – Diagramma di raffica – Carichi dovuti alla deflessione degli alettoni e dei flaps – Carichi all'atterraggio: modelli dinamici ad uno o più gradi di libertà; influenza dell'assetto sui carichi (massa ridotta); tipi di atterraggio – Carichi propulsivi.

**PARTE II****Calcolo statico delle strutture aeronautiche**

– **Strutture reticolari e schema trave.** Strutture a traliccio – Fusoliere – Castelli motore – Ali a longheroni indipendenti – Ali controventate.

– **Modelli a semiguscio.** Componenti strutturali e loro funzioni — Strutture a rivestimento lavorante: schema a semiguscio – Schema trave a semiguscio – Risultante e momento risultante di un flusso di taglio in un pannello – Sforzi normali nei correnti e flussi di taglio nei pannelli – Equazioni di equilibrio – Centro di taglio – Asse elastico – Strutture a semiguscio multicellulari – Dimensionamento di centine e ordinate – Strutture rastremate – Effetti delle aperture.

– **Modelli ad elementi finiti.** Derivazione del modello a elementi finiti – Tipi di elementi – Analisi statica e cenni all'analisi dinamica – Esempi.

– **Collegamenti strutturali.** Flussi trasmessi dalle giunzioni trasversali e longitudinali – Attacchi e rinforzi – Calcolo delle forze agenti sugli elementi di giunzione e relativa verifica.

**Instabilità delle strutture**

– Considerazioni generali sull'instabilità – Instabilità generale di strutture a trave e pannelli irrigiditi – Instabilità di pareti sottili in compressione e larghezza equivalente – Instabilità di pareti sottili in flessione – Pareti piane sottoposte ad una combinazione di flessione e compressione pura – Campi di tensione diagonale per pareti sottili piane e cilindriche isotrope – Cenni sull'instabilità locale.

**Libri di testo**

Dispense del corso

T.H.G. MEGSON, *Aircraft Structures for engineering students*, Arnold (London).**Libri consigliati per approfondimento**D.J. PEERY, J.J. AZAR, *Aircraft Structures*, McGraw-Hill.BRUHN, *Analysis and design of flight vehicle structures*, Jacobs Publishing inc.

ATTILIO LAUSETTI, *L'aeroplano progetto-strutture-installazioni*, Levrotto & Bella.

VINCENZO MERCURIO, *Costruzioni aeronautiche*, IBN editore.

### **Propedeuticità consigliate**

Aerodinamica degli aeromobili, Fluidodinamica, Meccanica del volo, Meccanica dei materiali

### **Modalità svolgimento esame**

L'esame finale è diviso in due parti, scritto e orale: l'ammissione all'orale è vincolata dal superamento dello scritto.

Lo scritto è suddiviso in due parti, come il programma. Se lo studente ha superato uno scritto parziale su una delle due parti durante il corso, può sostenere, durante lo scritto generale, solo la parte mancante: se decide di fare lo scritto generale, perderà il voto parziale precedentemente ottenuto.

## **COSTRUZIONI DI MACCHINE PER L'INGEGNERIA CHIMICA L BO, cds: Q**

Docente: **Vincenzo Dal Re** prof. ass.

**ELEMENTI DI DISEGNO TECNICO.** Tipi e grossezze di linee. Proiezioni ortogonali. Sezioni. Quotatura. Collegamenti con organi filettati. Complessivi di apparecchiature chimiche.

**ELEMENTI DI TECNOLOGIA MECCANICA.** Designazione dei materiali. Prove sui materiali. Saldature. Controlli non distruttivi.

**TENSIONI e DEFORMAZIONI MEMBRANALI** nei recipienti a pressione.

**CILINDRI DI GROSSO SPESSORE.** Cilindri blindati. Autoblindamento.

**PIASTRE RETTANGOLARI SOGGETTE A FLESSIONE.**

**PIASTRE CIRCOLARI SOGGETTE A FLESSIONE.**

**TEORIA FLESSIONALE DEI GUSCI CILINDRICI.** Recipiente cilindrico con fondi emisferici, ellissoidici, piani.

**FLANGE.** Tensioni nelle flange. Preserraggio dei bulloni.

**CONCENTRAZIONI DI TENSIONE.** Aperture rinforzate.

**CALCOLO DELLE SALDATURE.**

**LE NORME ISPESL.**

### *Testi Consigliati*

MANFÉ, POZZA, SCARATO, *Disegno Meccanico*, Vol. 1 e 2.

S.P. TIMOSHENKO, S. WOINOWSKY-KRIEGER, *Theory of Plates and Shells*, McGraw Hill Book Company, Inc.

V. DAL RE, *Lezioni del Corso di Costruzione di Macchine per Ingegneria Chimica*, Progetto Leonardo.

V. DAL RE, *Esercizi del Corso di Costruzione di Macchine per Ingegneria Chimica*, Progetto Leonardo.

ISPESL, Raccolta VSR.

**COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI**

BO, cds: D, R, C

Docente: **Alberto Bucchi** prof. ord.*Problematiche di progettazione delle infrastrutture viarie.*

Strade, Ferrovie, Aeroporti, Porti. Logistica. Interconnessione fra i vari modi. Passeggeri e merci.

*Problemi della sicurezza e dell'ambiente.*

Il comportamento umano. Il rapporto veicolo-uomo-strada. Sinistrosità. Analisi del rischio. Cenni di Via. Nuovo approccio metodologico progettuale.

*Traffico.*

Indici di traffico. Capacità. Flussi. Velocità. Relazioni fra portata, densità, velocità. Indagini di traffico. Aree urbane, metropolitane, extraurbane.

*Progetto della sezione stradale.*

Condizioni di traffico. Livelli di servizio. Autostrade. Strade ordinarie. Manuale H.C.M. Verifica della sezione. Norme C.N.R. n. 77 e n. 60. Nuovo codice della strada. Nuova normativa C.N.R.

*Progetto stradale.*

Nuova normativa C.N.R. La filosofia della progettazione integrata.

*Geometria del tracciato stradale.*

Raggio minimo. Pendenza trasversale. Allargamento. Visibilità. Raccordi planimetrici. Norme C.N.R. Raccordi altimetrici. Rettifili. Studio dell'asse. Coordinamento plano-altimetrico

*Corpo stradale.*

Geometria del solido stradale. Calcolo dei volumi. Classifica delle terre. Prove sulle terre. Piano di posa dei rilevati. Rilevati. Piano di posa delle trincee. Trincee. Compattazione. Prove di laboratorio ed in sito per la compattazione. Elementi di geotecnica stradale.

*Spinta delle terre e opere di sostegno.*

Equilibrio delle terre. Coulumb. Rankine. Spinta attiva e passiva. Casi particolari. Sovraccarico. Costruzione di Poncelet. Muri di sostegno. Tipologie. Muri a gravità. Muri in c.a. a elle ed a costoloni. Opere complementari. Muri a tiranti. Gabbioni e muri prefabbricati. Terra armata. Terra rinforzata.

*Gallerie.*

Problematiche. Nuovo approccio progettuale. Sezioni. Classifica rocce. Carichi agenti e parametri geotecnici. Calcolo rivestimento. Sostegni provvisori. Fasi esecutive. Metodo NATM.

*Ferrovie.*

Le grandi problematiche italiane ed europee. Sovrastruttura: elementi compositivi e materiali. Scartamento. Rotaie. Traversine. Stazioni. Alta Velocità: scelta progettuale e attuali realizzazioni.

*Aeroporti.*

La politica aeroportuale. Tipi di aerei. Ubicazione. Elementi dell'area aeroportuale. Lunghezza piste di volo. Classifica aeroporti. Orientamento delle piste. Spazi liberi attorno alle piste.

*Sovrastrutture stradali.*

Problematiche. Tipologie. Strati superficiali. Strati di base. Strati di fondazione. Pavimentazioni rigide. Trattamenti superficiali. Microtappeti a freddo. Conglomerati drenanti. Reologia dei conglomerati bituminosi. Bitumi modificati. Controlli sulla pavimentazione (capacità portante,

aderenza, regolarità).

Prove sui materiali stradali in opera.

Calcolo delle sovrastrutture. Metodi semiempirici: CBR, Road Note 29, AASHO. Metodi razionali: Bisar, Ivanov. Calcolo delle sovrastrutture rigide. Catalogo delle sovrastrutture.

*Prove sui materiali stradali.*

Materiali lapidei. Bitumi. Emulsioni bituminose.

*Testi consigliati:*

BUCCHI, *Dispense delle lezioni.*

TESORIERE, *Costruzioni di strade, ferrovie ed aeroporti.*

FERRARI e GIANNINI, *Costruzioni di strade.*

Propedeuticità consigliate: Scienza delle costruzioni, Tecnica delle costruzioni, Topografia, Geotecnica.

Esami orali. Le esercitazioni consistono nella progettazione di un tronco di strada ordinaria in zona montagnosa.

Tesi di Laurea- Indirizzo teorico e di ricerca

Indirizzo pratico-applicativo

## **COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI II**

BO, cds:C

Docente: **Giulio Dondi** prof. straord.

### **1. IL PROGETTO STRADALE**

I gradi di progettazione successiva alla luce della Normativa vigente. Composizione di un progetto stradale ai livelli preliminare, definitivo ed esecutivo. Progettazione geometrica assistita: definizione e caratteristiche del modello digitale del terreno (DTM) su base raster e vettoriale. Progettazione mediante poligonale d'asse e per elementi. Illustrazione delle caratteristiche dei principali strumenti di progettazione stradale.

### **2. COSTRUZIONE DEI RILEVATI E DELLE TRINCEE**

Stabilità del piano di posa: carichi di rottura e di plasticizzazione; cedimenti immediati e differiti. Stabilità delle scarpate: tecniche di discretizzazione e verifica, analisi comparativa dei metodi di Fellenius e Bishop, determinazione del miglioramento della stabilità mediante berlinesi tirantate e verifica degli ancoraggi. Consolidamento dei piani di posa e delle scarpate. Problemi di addensamento: tecniche di campionamento e prove Proctor e C.B.R.

#### **2.1 I SOTTOFONDI STRADALI**

Definizione della portanza; prova di carico con piastra (PLT): a ciclo unico ed a cicli ripetuti, definizione del coefficiente di costipamento; metodo HRB. Metodo CBR e FAA. Determinazione di  $K$  e  $M_d$  ed  $E$ .

#### **2.2 IMPIEGO DEI GEOSINTETICI**

Generalità sui geosintetici: geotessili tessuti e nontessuti, geogriglie, georeti, geocompositi, geocelle, geomembrane. Funzioni ed applicazioni dei geosintetici: separazione, rinforzo, filtrazione, drenaggio, rinforzo superficiale ed impermeabilizzazione. Caratteristiche fisico-chimiche

dei principali geosintetici e dei polimeri; creep e creep apparente, durabilità e metodo dei coefficienti di sicurezza parziali. Riconoscimento pratico dei principali geosintetici. Prove di accettazione e caratterizzazione.

### 2.3 TECNICHE SPECIALI

Rilevati alleggeriti per terreni compressibili: impiego dell'argilla espansa, di polistirene espanso sinterizzato (EPS). Tecniche di preconsolidamento con microdreni verticali (dreni a nastro) per cedimenti differiti; Materie prime secondarie: reimpiego di materiali di scarto: il ROSE, ceneri volanti e loppe d'altoforno. Stabilizzazioni delle terre con leganti idraulici: miscele binarie e ternarie:

## 3. SOVRASTRUTTURE STRADALI.

### 3.1 TIPOLOGIE

Tipologie tradizionali e con leganti modificati. Strati di fondazione, di base, di collegamento e di usura. Inerti granulari: composizione granulometrica a fuso continuo e discontinuo; inerti granulari stabilizzati. Misti cementati. Progettazione e mix-design dei conglomerati bituminosi: metodo francese. Prova Marshall: % di bitume, granulometria, indice dei vuoti, percentuale di filler. Sovrastrutture rigide: progettazione dei conglomerati cementizi: % di cemento, inerti, acqua: Resistenza, confezione, posa e giunti.

### 3.2 SUPERPAVE

Il metodo SHRP-SUPERPAVE per il mix design dei conglomerati bituminosi con pressa gittatoria. Prove sui leganti: RTFOT, pressure aging vessel, viscosimetro rotazionale, bending beam reometer, DSR e DTT. Reologia dei conglomerati bituminosi: prove dinamiche, prove di creep, modulo complesso, influenza della temperatura e della frequenza.

### 3.3 METODI DI CALCOLO

Calcolo a fatica delle sovrastrutture stradale flessibili. Individuazione della vita utile di progetto della sovrastruttura: rilievi di traffico, composizione del traffico di progetto, fattori di equivalenza dei veicoli, individuazione del traffico in ESA (equivalent standard axle). Metodi semiempirici: Road Note 29, AASHO (PSI, IS), esempi di calcolo. Metodi razionali: Bisar, leggi di fatica, esempi di calcolo. I Cataloghi delle sovrastrutture stradali. Pavimentazioni cementizie: Westergaard, Burmister-Peltier, Hogg. Influenza della temperatura: variazioni stagionali, variazioni giornaliere. Tecniche di controllo: falling weight deflectometer, trave di Benkelman.

## 4. OPERE D'ARTE

### 4.1 OPERE DI SOSTEGNO DELLE TERRE

#### 4.1.1 Opere tradizionali

Spinta delle terre in regime rigido-plastico: Rankine, Columb, Muller-Breslau. Condizioni al contorno: geometria dell'estradosso e attrito struttura-terreno, grafici di progetto NAV-FAC. Opere tradizionali: muri in c.a. in condizioni particolari: terreno a tergo stratificato, presenza di battente idraulico. Muri in zona sismica: metodi di Mononobe-Okabe e Normativa Italiana (D.M. 16-1-1996).

#### 4.1.2 Opere speciali

Spinta delle terre in regime elasto-plastico ed interazione terreno-struttura: influenza dell'OCR del terreno e della profondità secondo Janbu sul coeff. (kj) di spinta delle terre. Opere speciali: berlinesi a più livelli di ancoraggio.

### 4.1.3 Terre rinforzate

Caratteristiche delle terre rinforzate. Definizioni di macrorinforzo e microrinforzo. Criteri di calcolo: verifiche di stabilità esterne ed interne, cuneo attivo e passivo, altezza limite, lunghezza minima dei rinforzi. Esempi applicativi: tecnica "wrap-around", Terre Armate, Textomur, Conwall. Modalità di messa in opera

### 4.2 SOTTOVIA SCATOLARI A SPINTA

Campi d'impiego. Caratteristiche geometriche e strutturali: scatolare, platea di varo, muro reggisplinta. Criteri di calcolo: spinta in fase di varo e di esercizio.

## 5. GALLERIE

Indagini preliminari: sismica a rifrazione, cross-hole, down-hole, sondaggi a carotaggio dalla superficie e dal fronte di scavo, cunicolo pilota. Le tecniche di scavo. Determinazione della spinta del terreno: teoria dell'effetto arco secondo terzaghi, classifica dell'ammasso roccioso secondo Bieniawski e metodo del rock mass rating (RMR). Rivestimenti: rivestimento provvisorio e definitivo, criteri di calcolo mediante le curve caratteristiche ed i modelli FEM, tipologie costruttive. Gallerie sotto falda. Consolidamenti del fronte di scavo in condizioni difficili. Impianti di ventilazione. Controlli in fase di realizzazione

## 6. SICUREZZA STRADALE

Caratteristiche della rete stradale nazionale, classificazione e caratteristiche geometriche delle strade. L'incidentalità: cause e politiche europee per la sicurezza stradale. Fattori che influenzano la sicurezza stradale: aderenza e regolarità. Sistemi di gestione delle strade: il Catasto stradale, costituzione, gestione ed aggiornamento. Il GPS nella costituzione de Catasto stradale.

### 6.1 PAVIMENTAZIONI AD ELEVATA ADERENZA

Conglomerati bituminosi drenanti e fonoassorbenti. Conglomerati bituminosi antiskid. Conglomerati bituminosi tipo splitmastixasphalt.

### 6.2 BARRIERE DI SICUREZZA

Evoluzione della Normativa Italiana ed Europea. Criteri di classificazione delle barriere. Livelli di Contenimento ed Indici di Severità. Limiti di accettazione: parametri ASI, THIV, e PHD. Criteri di posizionamento ed ancoraggio. Prove di inpatto (crash tests).

## 7. AEROPORTI

Caratteristiche geometriche dell'"Air side". Piste di volo, Taxiways, e Piazzali di sosta: dimensioni, pendenze e segnaletica. Calcolo della sovrastruttura: metodi FAA e STBA. Prove di carico. Zone critiche e giunti tra pavimentazioni diverse. Gambe di forza e carico equivalente su ruota singola. Numero PCN dell'aerostazione e dell'aeromobile. Calcolo delle sovrastrutture flessibili e rigide.

## 8 FERROVIE

Armamento ferroviario: armamento per alta velocità, piastre di armamento in c.a. Composizione della sovrastruttura ferroviaria.

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nella progettazione, assistita mediante elaboratore, della parte geometrica di un tronco stradale.

Ad ogni gruppo di tre studenti vengono forniti, in comodato temporaneo gratuito:

- cartografia numerica;
- software di progettazione ROADMAKER con relativo manuale d'uso in formato .pdf su CD, e chiave hardware di protezione per la porta parallela.



**Supporti didattici:**

Agli studenti viene messa a disposizione una copia dei lucidi e delle diapositive presentati a lezione.

**Testi consigliati:**

G. TESORIERE, *Costruzioni di Strade, Ferrovie ed Aeroporti*.

F. GIANNINI e P. FERRARI, *Costruzioni stradali e ferroviarie*.

A. GOMES CORREIA, *Flexible Pavements*, Balkema, 1996, ISBN 90 5410 523 2

**COSTRUZIONI IDRAULICHE****BO, cds: R, C**

Docente: **Armando Brath** prof. ord.

**1) Elementi di idrologia**

*Fenomenologia del ciclo idrologico* - Precipitazioni: regime e misura. Infiltrazione: misura e modelli matematici. Evaporazione, traspirazione ed evapotraspirazione: misure e modelli interpretativi. Deflussi dei corsi d'acqua: misura ed elaborazioni elementari.

*Il bacino idrografico* - Caratteri morfologici. Bilancio idrologico di un bacino.

*Le piene fluviali* - Formazione dell'onda, modelli lineari di trasformazione, modelli dell'invaso, della corrvazione, della cascata di serbatoi; calibrazione dei modelli matematici.

*La metodologia statistica applicata all'analisi delle serie idrologiche* - Le grandezze idrologiche come variabili aleatorie. Elaborazioni su campioni. Distribuzioni di probabilità per l'analisi delle variabili idrologiche continue e discrete.

**2) Dighe e traverse**

Regimi fluviali e regolazione dei deflussi. Opere di sbarramento. Dighe (tipologia) e traverse. Serbatoi: determinazione della capacità di regolazione e gestione di invasi con capacità insufficiente. Derivazione senza regolazione. Opere di trasporto. Schemi di impianti idroelettrici. Problemi di moto vario negli impianti idroelettrici. Colpo d'ariete. Manovre brusche e lente e relative sovrappressioni. Moto vario nel sistema galleria-pozzo piezometrico.

**3) Sistemazione dei corsi d'acqua**

*Richiami e complementi di idraulica delle correnti a pelo libero* - Moto uniforme. Profili di pelo libero di correnti permanenti monodimensionali in alvei prismatici. Singolarità.

*Correnti in alvei erodibili e trasporto solido* - Caratteristiche dei sedimenti ed inizio del moto. Fenomeni di instabilità del fondo; forme di fondo e loro effetto sulle resistenze al moto. Trasporto di fondo e trasporto in sospensione. Formule per la previsione del trasporto solido. Configurazione di equilibrio di un tronco fluviale.

*Sistemazioni montane* - Sistemazione dei versanti (cenni). Sistemazione delle aste torrentizie. Pendenza di compensazione. Briglie ordinarie e selettive. Opere longitudinali e repellenti.

*Sistemazioni fluviali e controllo delle piene* - Opere longitudinali. Statica degli argini in terra. Interventi intesi a modificare la scala di deflusso della sezione fluviale. Serbatoi di laminazione delle piene e casse di espansione. Diversivi e scolmatori. Preannuncio delle piene. Impatto delle opere idrauliche sul regime fluviale. Effetti indotti dalla presenza di opere idrauliche di controllo delle piene. Effetti sui profili di pelo libero in moto permanente. Effetti indotti durante i fenomeni di piena.

**4) Acquedotti**

Fabbisogni. Previsioni demografiche e dotazioni idriche. Requisiti di qualità delle acque po-

tabili. Fonti di approvvigionamento ed opere di presa. Captazione di falde idriche: pozzi e gallerie filtranti. Derivazione di acque superficiali. Opere di adduzione. Studio del tracciato. Progetto e verifica dell'acquedotto esterno. Impianti di sollevamento. Casse d'aria. Serbatoi di compenso. Caratteristiche delle reti di distribuzione. Progetto e verifica delle reti a maglie aperte. Calcolo delle reti a maglie chiuse. Condotte per acquedotto.

#### 5) Sistemi di drenaggio urbano

Generalità. Sistema di fognatura. Tipologia delle reti. Tipi di sezioni. Limiti di velocità. Calcolo delle portate di acque nere. Calcolo delle portate delle acque meteoriche. Evento critico. Coefficienti idrometrici. Scala delle portate di sezioni chiuse. Materiali per condotte. Manufatti speciali (pozzetti di ispezione, di caduta, di cacciata, caditoie stradali, connessione agli impianti domestici, etc.). Vasche volano finalità d'uso e dimensionamento idraulico. Scaricatori di piena: rapporti di diluizione, tipologie costruttive e loro funzionamento idraulico: sfioratori laterali, scaricatori a salto, derivatori frontali. Impianti di sollevamento.

#### 6) Bonifiche idrauliche

Finalità delle opere di bonifica. Franco di bonifica. Bonifiche per colmata e per prosciugamento. Bonifiche a scolo naturale, meccanico, intermittente. Criteri di progettazione. Scala delle portate. Verifica dei canali di bonifica. Metodo della corrivazione. Metodo dell'invaso: tempo di riempimento di un collettore, evento critico e coefficiente idrometrico. Principali manufatti per reti di bonifica.

#### 7) Impianti di irrigazione

Evapotraspirazione potenziale ed effettiva. Bilancio idrologico del terreno agrario. Fabbisogni. Fonti di approvvigionamento. Consegna a turno e a domanda. Metodi di irrigazione: irrigazione per espansione superficiale, irrigazione per aspersione (a pioggia), irrigazione localizzata (a goccia).

#### Testi consigliati

G. SUPINO, *Le reti Idrauliche*, Pàtron, Bologna.

G. EVANGELISTI, *Impianti Idroelettrici*, Pàtron, Bologna.

F. ARREDI, *Costruzioni Idrauliche*, UTET, Torino.

U. MAIONE, *Le piene fluviali*, La Goliardica pavese, Pavia.

U. MAIONE, A. BRATH, *Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali*, Bios, Cosenza.

U. MAIONE, A. BRATH, *La sistemazione dei corsi d'acqua naturali*, Bios, Cosenza.

U. MAIONE, A. BRATH, *La difesa idraulica del territorio*, Bios, Cosenza.

A. PAOLETTI, *Sistemi di fognature e di drenaggio urbano*, Edizioni CUSL, Milano.

*Tesi di laurea*, disponibili sia applicative che di ricerca.

### COSTRUZIONI IDRAULICHE URBANE (C.I.)

BO, cds: D

Il corso sarà suddiviso in due moduli: Idraulica e Costruzioni Idrauliche Urbane, dalla durata di 50 ore ciascuno, articolati in lezioni (60 ore) ed esercitazioni (40 ore) di cui alcune svolte in laboratorio.

**Modulo: IDRAULICA**Docente: **Vittorio Di Federico** prof. straord.

Schema di mezzo continuo. Proprietà dei fluidi. Cinematica dei fluidi. Equazioni cardinali del moto. Pressioni e forze idrostatiche. Dinamica dei fluidi viscosi: le equazioni di Navier-Stokes. Dinamica dei fluidi ideali: il teorema di Bernoulli. Equazioni globali. Le macchine idrauliche. Moto uniforme e permanente nelle condotte in pressione. Perdite di carico concentrate. Moto vario nelle condotte. Moto uniforme nelle correnti a superficie libera. Il moto permanente nelle correnti a superficie libera: profili di rigurgito e risalito idraulico. Cenni sui moti di filtrazione.

**Modulo: COSTRUZIONI IDRAULICHE URBANE**Docente: **Marco Maglionico** ric.

Il ciclo dell'acqua urbano. Opere di adduzione e distribuzione: sorgenti, opere di presa, potabilizzazione, opere di adduzione, opere di compenso, reti di distribuzione.

Le reti di drenaggio urbano: reti di collettamento separate ed unitarie, opere d'arte, problemi ambientali connessi al recapito nei riceventi. Impianti di trattamento dei reflui.

Si descriveranno le caratteristiche, i criteri ed i metodi di dimensionamento con esempi numerici di applicazione delle opere sopra elencate.

*Testi consigliati*CITRINI, NOSEDA, *Idraulica*, CEA, Milano, 1987.ALFONSI, ORSI, *Problemi di Idraulica e Meccanica dei Fluidi*, CEA, Milano, 1984.BRAGADIN, *Idraulica*, CEDAM, Padova, 1996.MILANO V., *Acquedotti*, Hoepli, 1996.AA.VV., *Sistemi di Fognatura. Manuale di progettazione*, Hoepli, 1999.

*Esami*: L'esame prevede una prova scritta (eventualmente frazionata in prove parziali in itinere) ed una orale.

**COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA**

BO, cds: D, C

Docente: **Pier Paolo Diotallevi** prof. ord.

*Elementi di sismologia*. Cause dei terremoti. Fuoco, magnitudo, intensità energia. Tipi e caratteri delle onde sismiche; legge di propagazione delle onde. Rilevamento delle caratteristiche delle onde sismiche di un sito, zonazione e microzonazione. Catalogo dei terremoti.

*Richiami di dinamica delle strutture*. Oscillatore semplice: vibrazioni libere e vibrazioni forzate con e senza smorzamento.

*Analisi sismica di strutture con comportamento elastico lineare*. Risposta dell'oscillatore semplice ad un sisma, spettro di risposta. Sistemi strutturali con masse concentrate e con masse distribuite: oscillazioni libere, oscillazioni forzate, risposta ad accelerazioni impresse ai vincoli. Richiami sulle tecniche numeriche di calcolo. Coordinate principali, disaccoppiamento delle equazioni del moto, analisi modale. Coefficiente di partecipazione. Criteri per la determinazione degli stati di sollecitazione e di deformazione. Metodi di integrazione passo-passo. Analisi sismi-

ca delle strutture mediante criteri statici. Criteri informativi e prescrizioni delle vigenti norme (analisi modale semplificata). Sistemi strutturali piani semplici e composti. Sistemi strutturali con comportamento spaziale. Formulazione al discreto ed al continuo. Sistemi equivalenti a strutture complesse. Le norme vigenti.

*Analisi sismica di strutture con comportamento non lineare.* Duttilità di una sezione e di un elemento strutturale per azioni monotone e per azioni cicliche. Cerniera plastica e duttilità. Oscillatore elasto-plastico. Spettro di risposta di progetto: coefficiente di struttura. Progetto a duttilità controllata. Sistemi a più gradi di libertà: procedimenti di calcolo, programmi di calcolo, metodi semplificati. La normativa europea per le zone sismiche.

*Criteri di progetto per le diverse tipologie strutturali.* Strutture di c.a., a pannelli, metalliche e miste con riferimento alle normative vigenti, alle normative europee ed alle norme estere più avanzate.

*Progetto di strutture di muratura in zona sismica.* Comportamento delle strutture di muratura sotto sisma. Criteri generali di progetto delle costruzioni di muratura: maschio isolato, associazioni di più maschi murari, sistemi con comportamento spaziale. Metodo Por. Riferimenti normativi.

*Interazione terreno-struttura.* Richiami delle proprietà dinamiche dei terreni e relativi metodi di valutazione. Modelli di comportamento dinamico dei terreni. Criteri di modellazione dell'interazione terreno-struttura. Criteri di progetto delle fondazioni superficiali e profonde. La liquefazione dei terreni: liquefazione statica e ciclica, fattori di influenza, potenziale di liquefazione, criteri per la prevenzione dei danni prodotti dalla liquefazione. Strutture di sostegno del terreno in presenza di azioni sismiche, stabilità dei pendii.

*Interventi sulle strutture danneggiate dal sisma.* Esame dei danni prodotti dal sisma sulle diverse tipologie strutturali. Criteri di intervento per il ripristino della resistenza. Esempi di intervento e criteri di calcolo.

*Miglioramento ed adeguamento sismico.* Indicazioni normative, criteri di progettazione. Strutture miste. Telai tamponati.

*Isolamento sismico delle costruzioni e sistemi di dissipazione.* Concetti fondamentali sull'isolamento sismico. Sistemi di isolamento al piede delle costruzioni e relativi criteri di modellazione. Teoria lineare dell'isolamento alla base. Accoppiamento di spostamenti e rotazioni per edifici isolati alla base. Attuali riferimenti normativi per il progetto di costruzioni isolate. Sistemi di dissipazione e controllo attivo sulle costruzioni. Valutazioni di carattere energetico per il progetto delle strutture ed il controllo degli effetti del sisma.

*Sili e serbatoi.* Criteri di progettazione e normative (cenni).

Durante l'insegnamento viene richiesto il progetto di alcune ricorrenti strutture in zona sismica.

## **COSTRUZIONI MARITTIME**

Docente: **Alberto Lamberti** prof. ord.

**BO, cds: C, R**

1) Richiami sui moti ondosi: onde lineari e teorie di Stokes, Airy e Gerstner; onda solitaria. Maree: teoria statica; correnti marine e loro origine. Condizioni di frangimento. Riflessione, rifrazione e diffrazione delle onde. Valutazione delle massime altezze d'onda prevedibili in un paraggio: formule empiriche; metodo dell'onda significativa; metodo dello spettro di energia; criteri per la scelta dell'altezza d'onda di progetto. Azioni esercitate dalle onde sulle strutture. Effetti dell'acqua di mare sui calcestruzzi e sugli altri materiali da costruzione; corrosione dei metalli e protezione catodica.

2) Caratteristiche dei natanti e principali problemi della navigazione. Cartografia nautica; se-

gnalazioni radioelettriche; fari e boe.

3) Le coste, definizioni e interazione col mare; trasporto di materiale da parte del mare; corrosioni e ripascimenti e loro cause; valutazione del trasporto solido lungo le rive; opere di difesa delle coste.

4) I porti: tipi, configurazioni e principali strutture. Le dighe e i moli di protezione; tipi e criteri di dimensionamento, problemi statici, economici e costruttivi; fondazioni. Le opere interne; banchine, darsene, terrapieni e loro attrezzature; terminali specializzati. Calcolo dei muri di sponda di vario tipo e degli organi di ormeggio. Strutture speciali nei porti: chiuse per docks, bacini da carenaggio e bacini-scalo: tipi ed elementi di calcolo. Esempi recenti di grandi realizzazioni.

5) I porti turistici. Caratteri generali, criteri tecnico-economici di impianto e dimensionamento. Valutazione delle aree necessarie. Tipi di strutture d'attracco e di servizio.

6) Idrovie artificiali e naturali. Tipi e dimensioni dei natanti, in relazione ai manufatti dell'idrovia; conche di navigazione, elevatori, passi a raso, ponti-canale e problemi statici e idraulici connessi. Canalizzazione dei corsi d'acqua per la navigabilità; leggi di Fargue e mezzi di intervento sull'andamento planimetrico; opere radenti e trasversali.

7) Opere fluviali. Controllo e correzione del profilo altimetrico di un corso d'acqua con briglie e soglie. Il problema della difesa dalle piene: interventi estensivi ed intensivi; serbatoi di controllo delle portate; arginature; casse di espansione. Cenni sui moderni mezzi di rilevazione, elaborazione automatica e controllo degli eventi di piena.

#### *Tesi di laurea*

Opere portuali e strutture di servizio. Piattaforme offshore. Porti turistici. Opere idrovie. Regolarizzazione di corsi d'acqua. Azioni dei metodi ondosi sulle strutture. Inquinamenti marini.

#### *Materie indispensabili per lo svolgimento della tesi:*

Gruppo idraulico. Tecnica delle Costruzioni. Geotecnica e Tecnica delle fondazioni.

*Testi consigliati:* un'aggiornata bibliografia è contenuta negli appunti forniti agli studenti.

## **DIAGNOSTICA DEI SISTEMI MECCANICI L**

**FO, cds: dum, clm**

Docente: **Alberto Maggiore** prof. ord.

#### *Finalità*

Il corso si propone di fornire le nozioni di base per lo sviluppo, ai fini diagnostici, dell'analisi dei segnali vibratorii provenienti dai sistemi meccanici.

#### *Programma*

Generalità sulla manutenzione delle macchine. Elementi di analisi dei dati. I trasduttori. Analisi dei malfunzionamenti dei sistemi meccanici. Monitoraggio e diagnostica.

Le esercitazioni del corso si basano, prevalentemente, sull'apprendimento di tecniche di acquisizione ed analisi dei segnali con l'uso del calcolatore.

#### *Testi consigliati*

Appunti delle lezioni preparati dal docente.

BENDAT J.S., PERSOL A.G., *Random Data - Analysis and Measurement Procedures*, Second Edition, Wiley-Interscience, 1986.

COLLACOTT R.A., *Vibration Monitoring and Diagnosis*, George Godwin Ltd. - J. Wiley & Sons, 1979.

## DIAGNOSTICA STRUTTURALE L

FO, cds: dum, clm

Docente: **Giangiacomo Minak** ric.

### 1) Curve sforzi-deformazioni

1.1) Struttura cristallina dei materiali

1.2) Prove meccaniche

1.3) Modelli di comportamento dei materiali

### 2) Fatica a deformazione imposta (fatica oligociclica o a basso numero di cicli)

2.1) Il metodo della deformazione locale.

2.2) Simulazione del comportamento ciclico del materiale in campo elasto-plastico: effetto Bauschinger, addolcimento e incrudimento ciclico, curva ciclica, curva di isteresi (ipotesi di Masling).

2.3) Simulazione del comportamento a fatica del materiale (equazione di Manson-Coffin-Basquin, effetto della tensione media).

2.4) Ripasso delle definizioni del fattore di concentrazione delle tensioni e del fattore di concentrazione delle tensioni a fatica (o fattore di riduzione della vita a fatica); definizione dei fattori di concentrazione effettivi di tensione e deformazione.

2.5) Simulazione dell'effetto di concentrazione delle tensioni nella fatica oligociclica (criteri lineare e di Neuber).

2.6) Analisi del comportamento di un componente intagliato soggetto a carichi ad ampiezza variabile: definizione di danno e criteri per il calcolo dell'accumulo dello stesso (criterio di Palmgreen-Miner); metodi di conteggio (Rainflow).

### 3) Meccanica della Frattura Lineare Elastica (LEFM)

3.1) Introduzione.

3.2) Modi di frattura.

3.3) Metodi energetici (criterio di Griffith).

3.4) Stato piano di tensione e stato piano di deformazione.

3.5) Il fattore di intensificazione delle tensioni (o fattore di intensità degli sforzi).

3.6) Effetto di modeste plasticizzazioni all'apice del difetto e stima dell'ampiezza della zona plastica.

3.7) Condizioni di validità della LEFM e metodologie di prova.

3.8) Tenacità di alcuni materiali impiegati nelle costruzioni meccaniche.

3.9) Fattori che influenzano la tenacità:

- dimensioni provino;

- temperatura;

- velocità di prova.

### 4) Propagazione a fatica del difetto (equazione di Paris).

### 5) Accettabilità dei difetti secondo le norme

### Libri consigliati:

L. VERGANI, *Meccanica dei materiali*, McGraw-Hill, Milano 2001.

- J.W. DALLY, W.F. RILEY, *Experimental Stress Analysis* – Mc Graw-Hill Co. N.Y., 1978.  
 H.O. FUCHS, R.I. STEPHENS, *Metal Fatigue in Engineering* – J. Wiley & Sons N.Y., 1980.  
 D. BROEK, *Elementary Engineering Fracture Mechanics* – Sijthoff & Noordhoff, Alpen aan den Rijn, The Netherlands, 1978.

### **DINAMICA DEI SISTEMI NON LINEARI E ALEATORI LS**

**BO, cds: L**

Docente: **Augusto Muracchini** prof. straordinario.

#### **Obiettivo didattico specifico:**

Possesso critico ed operativo di alcuni aspetti fondamentali della modellistica dei sistemi dinamici, con specifico riferimento ad esempi di sistemi meccanici ed elettromeccanici: comportamento periodico, stabilità e transizione a comportamenti dinamici più complessi.

#### **Indicazione di massima dei contenuti del corso**

Richiami e complementi sulla dinamica dei sistemi meccanici ed elettromeccanici.

Oscillazioni libere in sistemi conservativi e dissipativi (richiami).

Comportamento periodico.

Oscillazioni forzate.

Eccitazione parametrica.

Auto-oscillazioni in sistemi dissipativi.

Stabilità dell'equilibrio delle soluzioni periodiche.

Teoria di Floquet.

Mappa di Poincaré.

Biforcazione dell'equilibrio e delle soluzioni periodiche.

Instabilità. Transizione al comportamento caotico (esempi).

Attrattori strani e loro proprietà.

Sistemi con ingressi o parametri aleatori.

### **DINAMICA DELLE MACCHINE E DEI SISTEMI MECCANICI LS**

**FO, cds: clm**

### **DINAMICA DELLE MACCHINE E DEI SISTEMI MECCANICI (V anno Laurea V. O.)**

Docente: **Alessandro Rivola** prof. ass.

#### **Finalità**

Introdurre l'allievo allo studio dei problemi di interesse tecnico relativi alla dinamica delle macchine e dei sistemi meccanici. Vengono trattati in particolare la modellazione dei sistemi meccanici e i metodi analitici e sperimentali per l'analisi delle vibrazioni.

#### **Programma**

1. *Dinamica delle macchine e degli impianti.* Richiami: analisi dinamica; azioni di inerzia; energia cinetica; principio di D'Alembert; principio dei lavori virtuali; equazione energetica; teorema di conservazione dell'energia meccanica; gradi di libertà; equazioni di Lagrange; riduzione di masse e forze. Il problema dinamico diretto; il problema dinamico inverso.

2. *Fondamenti di meccanica delle vibrazioni.* Sistemi continui e discreti. Elementi elastici: molle lineari; molle non-lineari; calcolo di costanti elastiche. Elementi smorzanti: smorzatore viscoso; attrito coulombiano; smorzamento strutturale. Il moto armonico: richiami; rappresentazio-

ne vettoriale; rappresentazione con numeri complessi; lavoro compiuto in moti armonici.

3. *Sistemi ad un grado di libertà*. Vibrazioni libere: Il sistema molla-smorzatore; il sistema massa-smorzatore; il sistema massa-molla; il sistema massa-molla-smorzatore; piano delle fasi; metodo del decremento logaritmico; vibrazioni libere con attrito coulombiano; vibrazioni libere con smorzamento isteretico. Metodi energetici: introduzione al metodo di Rayleigh. Vibrazioni forzate: risposta all'eccitazione armonica (risonanza di ampiezza e di fase); funzione risposta in frequenza (FRF); metodo della banda di mezza potenza; eccitazione proporzionale al quadrato della frequenza; eccitazione armonica in risonanza; vibrazioni forzate con smorzamento strutturale; risposta all'impulso; risposta all'eccitazione generica.

4. *Sistemi a due gradi di libertà*. Equazioni del moto: scelta coordinate; accoppiamento statico e dinamico. Vibrazioni libere: equazione caratteristica; calcolo pulsazioni naturali; modi di vibrare; condizioni iniziali; moto rigido. Vibrazioni forzate: matrice impedenza.

5. *Sistemi a molti gradi di libertà*. Sistemi senza smorzamento: matrice massa e matrice rigidità; autovalori e autovettori; ortogonalità dei modi; matrice modale; disaccoppiamento; moti rigidi. Sistemi smorzati: smorzamento proporzionale. Vibrazioni forzate: metodo modale e pseudo-modale.

6. *Sistemi continui*. Corda vibrante. Vibrazioni assiali di un'asta rettilinea. Condizione di ortogonalità delle forme modali. Vibrazioni torsionali delle travi. Vibrazioni flessionali delle travi. Metodi approssimati: Rayleigh e Rayleigh-Ritz. Vibrazioni forzate.

7. *Misure di vibrazione e analisi modale*. Componenti della catena di misura. Analisi nel dominio della frequenza. Il campionamento: teorema di Shannon; aliasing. Trasformata discreta di Fourier. Introduzione all'analisi modale sperimentale: funzione di trasferimento e Funzione Risposta in Frequenza (FRF); rilievo sperimentale della FRF; fondamenti analitici dell'analisi modale; estrazione delle forme modali (metodo ad un gdl); schema del procedimento. Prove sperimentali: misura di frequenze naturali; scelta dei parametri di acquisizione; eccitazione di una struttura con shaker elettrodinamico e con martello strumentato; rilievo sperimentale di FRF; osservazioni sulla funzione coerenza; estrazione dei parametri modali; visualizzazione dei modi di vibrazione.

8. *Modellazione a parametri concentrati*. Modelli a parametri concentrati di sistemi continui: modello di aereo; modello di autoveicolo; modello di una pressa. Modelli a parametri concentrati di meccanismi: il comportamento dinamico dei meccanismi; inerzie; rigidità; azioni dissipative; giochi; attrito secco; rigidità di contatto; schiacciamento del lubrificante; integrazione delle equazioni; la validazione; impiego del modello. Esempi.

### Testi di riferimento

FUNAIOLI E. MAGGIORE A., MENEGHETTI U., *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine*, Vol. II, ed. Pàtron, Bologna.

RAO S.S., *Mechanical vibrations*, Third edition, Addison Wesley Pub. Company, 1995.

Dispense redatte dal docente.

Materiale relativo alle Esercitazioni svolte durante il corso.

### Modalità di esame

Prova orale.

### Propedeuticità consigliate

Meccanica applicata alle macchine

Meccanica degli azionamenti

Meccanica applicata alle macchine II



**DINAMICA DELLE MACCHINE LS****BO, cds: E**Docente: **Alberto Maggiore** prof. ord.**Scopo del corso**

Il corso si propone di fornire allo studente gli strumenti per l'analisi dinamica dei sistemi meccanici più comunemente impiegati nell'ambito industriale ai fini della loro verifica e progettazione di massima. In questa ottica, saranno considerati, in particolare, i meccanismi per le macchine automatiche e i robot industriali.

Lo studio affronterà sia i problemi cinematici sia quelli dinamici legati al funzionamento dei sistemi citati, con l'obiettivo di consentire la comprensione del loro comportamento complessivo in termini di conoscenza delle leggi di moto e delle forze agenti.

La modellazione sarà lo strumento fondamentale con il quale potranno essere simulati sistemi anche complessi nell'ambito del processo di sintesi ed analisi.

**Contenuti del corso**

1. Elementi di cinematica e di dinamica di sistemi meccanici piani e spaziali
2. Equazioni del moto di sistemi ad uno o più gradi di libertà
3. Dinamica delle macchine funzionanti a regime periodico
4. Camme
5. Meccanismi per robot
6. Lubrificazione
7. Vibrazioni dei sistemi meccanici a molti gradi di libertà
8. Dinamica dei rotori
9. Introduzione allo studio sperimentale delle vibrazioni

Le esercitazioni saranno dedicate all'applicazione dei concetti trattati nel corso delle lezioni, con riguardo anche a taluni aspetti progettuali relativi ad organi meccanici di frequente impiego.

**Testi di riferimento**

E. FUNAIOLI, A. MAGGIORE, U. MENEGHETTI, *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine*, voll. 1 e 2, ed. Pàtron, 1987 - 1998, Bologna.

Appunti preparati dal docente

**Esame**

La valutazione della preparazione dello studente sarà effettuata mediante una prova orale.

**DINAMICA DEL VOLO LS****FO, cds: cla**Docente: **Gian Marco Saggiani** prof. ass.**Finalità del corso**

La dinamica del volo è attualmente focalizzata sulla determinazione delle caratteristiche di volo e maneggevolezza di un aeroplano. Queste, a loro volta, sono strettamente correlate con le caratteristiche di stabilità statica e dinamica e di controllo del velivolo. Scopo del corso è introdurre lo studente nei problemi fondamentali della stabilità e del controllo e di evidenziare la loro correlazione con le caratteristiche di volo dell'aeromobile. Lo studente, durante il corso, dovrà

acquisire un livello sufficiente di conoscenze per impostare e risolvere le equazioni del moto di un corpo rigido e pervenire ad una corretta interpretazione della soluzione. Esercitazioni di laboratorio, con utilizzo di metodi computazionali, permetteranno di risolvere le equazioni del moto di aeroplani convenzionali.

### **Programma**

*Introduzione:* definizione di stabilità, manovrabilità e controllo di un aeromobile

*Sistemi di riferimento e definizioni:* terne terrestri, sistema di riferimento aeromobile, angoli di Eulero, trasformazioni fra le terne, definizioni geometriche, definizione angoli positivi di comando, centro aerodinamico

*Richiami di stabilità statica:* Statica longitudinale: trattazione matematica semplificata del momento di beccheggio, trim a comandi fissi e a comandi liberi, stabilità a comandi fissi e a comandi liberi, considerazioni di aeronavigabilità. Cenni di stabilità statica latero-direzionale: accoppiamento alettoni-timone, stabilità.

*Equazioni del moto:* equazioni del moto di un corpo rigido, linearizzazione, disaccoppiamento delle equazioni, cenni sulle equazioni adimensionali, equazioni del moto nella forma delle equazioni di stato.

*Derivate aerodinamiche:* derivate di stabilità e controllo longitudinali e latero-direzionali, confronto definizioni americane e inglesi.

*Soluzione delle equazioni del moto:* soluzione con il metodo di Cramer, funzioni di trasferimento della risposta di un aeromobile, risposta ai comandi, funzioni di trasferimento della risposta ad una accelerazione, soluzione dell'equazioni di stato, equazioni di stato "aumentate".

*Dinamica longitudinale:* risposta ai comandi, modi propri longitudinali di Corto Periodo e Fugoide, soluzioni approssimate, risposta in frequenza.

*Dinamica latero-direzionale:* risposta ai comandi, modi propri latero-direzionale di Rollio Spirale e Dutch, soluzioni approssimate, risposta in frequenza.

*Esercitazioni in laboratorio:* utilizzo di programmi in MATLAB per lo studio della dinamica dei velivoli

### **Libri di testo**

Dispense del corso

M.V. COOK, *Flight dynamics principles*, Butterworth Heinemann.

### **Libri di approfondimento**

B. ETKIN, *Dynamics of atmospheric flight*, John Wiley & Sons Inc.

J.B. RUSSELL, *Performance & stability of aircraft*, Butterworth Heinemann.

L. MANGIACASALE, *Meccanica del volo atmosferico*, Levrotto & Bella, Torino.

LOUIS V. SCHMIDT, *Introduction to aircraft flight dynamics*, Reston (Va), AIAA, c1998.

G. MENGALI, *Elementi di dinamica del volo*, ETS.

*Propedeuticità richieste:* Aerodinamica; Meccanica del volo; Controllo automatici.

*Modalità svolgimento esame:* Esame finale orale

**DINAMICA DEL VOLO SPAZIALE I**Docente: **Roberto Morroi** prof. inc.

FO, cds: cla

**ELEMENTI DI MECCANICA CELESTE**

- Forze conservative
- Momento della quantità di moto
- Accelerazione radiale e trasversa
- Il problema dei due corpi
- Energia orbitale
- Equazione di Keplero

**PIANIFICAZIONE DELLA MISSIONE**

- Introduzione
- Ciclo di vita di una missione
- Architettura della missione
- Obiettivi secondari
- Caratterizzazione della missione
- Definizione di *mission concept* alternativi
- *Drivers*
- Definizione di *mission architecture* alternative
- Identificazione dei *drivers*
- Caratterizzazione della *mission architecture*
- Valutazione della missione
- Identificazione dei *driving requirements*
- Valutazione dell'utilità della missione
- Definizione del *mission concept* di riferimento
- Definizione delle necessità

**FONDAMENTI DI ASTRODINAMICA**

- Introduzione
- Elementi orbitali
- *Satellite ground track*
- Determinazione dell'orbita
- Trasformazione del sistema di riferimento
- Perturbazioni dell'orbita
- Non sfericità della Terra
- *Atmospheric lift and drag*
- Radiazione solare
- Perturbazione dovuta ad altri corpi celesti
- Effetti relativistici
- Problema degli  $n$  corpi
- Richiami di meccanica Lagrangiana
- Richiami di meccanica Hamiltoniana e Jacobiana
- Sistemi integrabili
- Le 10 conosciute costanti del moto nel problema degli  $n$  corpi
- Metodo della variazione delle costanti di Lagrange
- Metodo di Hill
- Soluzioni di Lagrange al problema dei 3 corpi
- Il moto relativo

- La sfera di influenza
- Potenziale di un corpo di forma arbitraria
- Manovre orbitali
- *Hohmann transfer*
- *One-tangent-burn transfer*
- *Spiral transfer*
- *Orbit plane change*
- *Simple plane change*
- *Combined plane change*
- *Rendezvous* orbitali
- Finestre di lancio
- Mantenimento dell'orbita
- *Deorbit*
- Progetto dell'orbita e della costellazione
- Copertura (*Earth coverage*)
- Il  $\Delta V$  budget
- Selezione di una *Earth-referenced-orbit*
- Selezione della *transfer orbit*
- Selezione della *parking orbit*
- Selezione di una *space-referenced-orbit*
- Progetto di una costellazione di satelliti

#### SPACE ENVIRONMENT & SURVIVABILITY

- Introduzione
- Plasma
- Fasce di Van Allen
- Ossigeno atomico
- *Solar particle events*
- Raggi cosmici (*Galactic cosmic rays*)
- Alta atmosfera
- Microgravità
- *Hardness & survivability*
- Lo spettro elettromagnetico

#### LANCIO

- Configurazione del veicolo spaziale
- *Design Budget*
- Progetto dello *spacecraft bus*
- Stima e controllo di assetto
- Comunicazioni
- *Command & data handling*
- Controllo termico
- Potenza elettrica
- Strutture
- Fondamenti di propulsione di razzi
- Tipi di razzi
- *Liquid bi-propellant engines*
- *Liquid mono-propellant engines*
- *Solid rockets*

- *Hybrid rockets*
- Propulsione elettrica
- Selezione e dimensionamento dei componenti
- *Staging* (sganciamento degli stadi)
- Dinamica del lancio
- Selezione del sistema di lancio
- Selezione della base di lancio
- *Payload environment*
- Veicolo di lancio Ariane
- *Space Shuttle Transportation System (STS)*
- *Orbital Transfer Vehicles (OTV)*
- Costi

#### RIENTRO IN ATMOSFERA

- Generalità
- Equazioni del moto
- Rientro balistico
- *Lifting entry*
- *Thermal protection systems (TPS)*
- Il corridoio di rientro

#### NAVIGAZIONE INTERPLANETARIA

- Traiettorie Luna-Terra
- Traiettorie interplanetarie
- Elongazione
- Sfere di influenza dei pianeti del Sistema Solare
- Fasi delle traiettorie interplanetarie
- *Deep Space Network*
- Determinazione della posizione della sonda
- *One-way Doppler*
- *Two-way Doppler*

#### DINAMICA DELLE STRUTTURE

**BO, cds: D, C**

Docente: **Erasmus Viola** prof. ord.

##### *Premesse*

Richiami sulla cinematica dei corpi rigidi. Principio di D'Alembert. Equazioni di Lagrange.

##### *Dinamica dei sistemi discreti ad un grado di libertà*

Oscillatore semplice a più gradi di libertà. Equazioni del moto in termini di spostamenti assoluti e relativi. Oscillazioni libere. Analisi modale. Rapporto di Rayleigh. Ortogonalità dei modi. Coordinate principali; disaccoppiamento delle equazioni del moto. Oscillazioni libere con smorzamento. Oscillazioni forzate. Oscillazioni dovute a spostamenti impressi.

Cenni sull'identificazione delle strutture.

##### *Dinamica delle travi*

Vibrazione longitudinale della trave: equazioni del moto, soluzione e modi normali di vibra-

zione. Vibrazione forzata. Analisi modale. Oscillazioni libere e forzate del cavo inestensibile. Trave su letto di molle e smorzatori.

Vibrazioni libere e forzate della trave inflessa: equazioni del moto, soluzioni, modi normali e vibrazione. Trave appoggiata agli estremi ed altre condizioni di vincolo. Principio di ortogonalità dei modi normali. Analisi modale. Mensola sollecitata da eccitazione sismica.

Travi a mensola con sola deformabilità tagliante e con sola deformabilità flessionale.

Equazioni di equilibrio, congruenza e legame per la piastra. Equazioni del moto. Schema delle teorie fisiche. Rapporto generalizzato di Rayleigh. Metodo dei modi assunti.

### *Principio di Hamilton*

Richiami sul teorema della divergenza e sulla regola di integrazione per parti nello spazio  $n$ -dimensionale. Principio di Hamilton ed azione Hamiltoniana. Dimostrazione del principio di Hamilton per lo stato monoassiale. Applicazioni ai solidi strutturali.

### *Onde elastiche*

Equazioni indefinite di equilibrio in termini di spostamenti: notazioni estesa ed operatoriale nel caso statico ed in quello dinamico. Operatori di equilibrio, di congruenza e di elasticità. Onde tridimensionali, da taglio e longitudinali.

### *Analisi matriciale delle strutture ed elementi finiti*

Matrice di rigidezza a sforzo assiale. Matrice di rigidezza a flessione e funzioni di norma. Matrice di rigidezza di molle in serie. Discussione generale del sistema di equazioni con ripartizione della matrice di rigidezza in funzione delle condizioni al contorno. Matrice di rigidezza espansa. Determinazione delle matrici di massa, di smorzamento e di rigidezza attraverso il principio dei lavori virtuali. Applicazione alla trave sollecitata a sforzo assiale.

### *Analisi armonica*

Serie di Fourier. Funzioni pari e dispari. Serie complesse. Trasformata ed antitrasformata di Fourier. Trasformata di Fourier della derivata. Funzione di trasferimento.

### *Dinamica aleatoria*

Esperimento casuale. Variabile aleatoria discreta e continua. Istogramma e poligono delle frequenze. Inferenza dal campione alla popolazione. Probabilità e frequenza. Funzioni di densità e di ripartizione. Media e varianza di una variabile aleatoria.

Processi stocastici. Media di insieme e media temporale. Covarianza e correlazione. Tecniche di caratterizzazione dinamica. Segnali deterministici e casuali. Energia e potenza di un segnale. Determinazione del valor quadratico medio della risposta di un sistema lineare. Eccitazione e risposta nodali e modali di un sistema ad  $n$  gradi di libertà.

### *Sperimentazione dinamica delle strutture*

Prove dinamiche per l'analisi del comportamento d'insieme, con eccitazione forzata e impulsiva. Strumentazione per il rilievo delle vibrazioni. Determinazione delle frequenze e delle forme modali. Prove microsismiche, in campo sonico ed ultrasonico, per la determinazione delle costanti elastiche dinamiche e per il rilievo di anomalie e difetti localizzati nei materiali.

### *Alcuni testi di dinamica*

W.C. HURTY, M.F. RUBINSTEIN, *Dynamics of Structures*, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1964.

- D.G. FERTIS, *Dynamics and Vibrations of Structures*, John Wiley & Sons, New York, 1973.  
 S. TIMOSHENKO, D.H. YOUNG, W. WEAVER, *Vibration Problems in Engineering*, John Wiley & Sons, New York, 1973.  
 C. GARAVINI, *Dinamica delle strutture*, ESA, Roma, 1978.  
 M. PAZ, *Dinamica strutturale*, Libreria Flaccovio Editrice, 1985.  
 A. CASTIGLIONI, *Introduzione alla dinamica delle strutture*, Masson Italia Editori, Milano, 1978.  
 F. CESARI, *Metodi di calcolo nella dinamica delle strutture*, Pitagora Editrice, Bologna, 1993.

#### *Testi utili per la dinamica aleatoria*

- S.H. CRANDALL, W.D. MARK, *Random Vibration in Mechanical Systems*, Academic Press, New York, 1973.  
 L. FARAVELLI, *Sicurezza strutturale*, Pitagora editrice, Bologna, 1988.  
 E. VIOLA, *Introduzione all'analisi probabilistica delle strutture*, Pitagora Editrice, Bologna, 1986.

### **DINAMICA E CONTROLLO DEI PROCESSI CHIMICI**

**BO, cds: Q**

Docente: **Gabriele Pasquali** prof. ass.

Nell'Insegnamento vengono esaminati i vari tipi di apparecchiature per le operazioni unitarie dell'ingegneria chimica, in relazione alla costruzione dei modelli, alla determinazione dei parametri, al comportamento in stato non stazionario ed ai problemi di regolazione.

Esame dello stato stazionario di un processo chimico. Stato quasi-stazionario e stato dinamico. Confronto tra il comportamento dinamico ed il comportamento stazionario di un processo chimico. Esame delle procedure per la progettazione delle apparecchiature chimiche e per l'individuazione delle condizioni ottimali di esercizio di un processo chimico, ed analisi della influenza della dinamica delle apparecchiature e del controllo sulla conduzione ottimale del processo. Modelli matematici nell'ingegneria chimica, loro esame in base alla natura del processo fisico modellato ed alla struttura delle equazioni risultanti.

Costruzione di modelli dinamici per alcune apparecchiature chimiche. Metodi numerici per la soluzione delle equazioni differenziali con particolare riferimento al transitorio delle apparecchiature più comuni. Metodi di analisi, uso dell'approssimazione lineare e linearizzazione, metodi per la soluzione dei modelli lineari. Esame del campo di validità dei modelli lineari.

Costruzione di modelli dinamici per le principali apparecchiature chimiche sede di reazioni chimiche e di processi di scambio di materia e di calore. Uso delle correlazioni di processo nei modelli dinamici. Metodi numerici per la soluzione delle equazioni differenziali con particolare riferimento al transitorio delle apparecchiature più comuni. Metodi di analisi, uso dell'approssimazione lineare e linearizzazione, metodi per la soluzione dei modelli lineari. Esame del campo di validità dei modelli lineari.

Richiami sulla trasformata di Laplace. Esame degli ingressi in un processo chimico, disturbi tipici, loro rappresentazione matematica e relativa L-trasformata. Determinazione della risposta dinamica di una sede mediante l'uso della trasformata di Laplace, funzione di trasferimento. Analisi frequenziale, diagramma di Bode.

Apparecchiature chimiche a stadi (modelli a parametri concentrati), elementi caratteristici della risposta di sistemi del primo e secondo ordine e di apparecchiature a più stadi. Determinazione dei parametri caratteristici del modello dalla risposta dinamica dell'apparecchiatura. Appa-

recchiature chimiche a contatto continuo (modelli a parametri distribuiti), flusso a pistone con e senza diffusione assiale, apparecchiature in equi e controcorrente. Determinazione dei parametri caratteristici dalla risposta dinamica.

Trattazione approssimata per sistemi dinamici.

Stabilità, definizione e criteri per la determinazione della stabilità. Il controllo nelle apparecchiature chimiche. Controllo a retroazione. Effetto del tipo di controllo sulla dinamica e stabilità di un'apparecchiatura chimica. Elementi di un circuito di controllo, influenza degli elementi del circuito di controllo sulla dinamica dell'apparecchiatura. Caratteristiche degli elementi di un circuito di controllo. Problema della scelta delle variabili di controllo. Stabilità dei sistemi chiusi in retroazione. Criteri e metodi per la sintesi di controllo. Metodi empirici. Controllo feedforward, feedback-feedforward e controllo di cascata.

Criteri di massima per la scelta del tipo di controllo nella regolazione della temperatura, pressione, ecc. in apparecchiature chimiche. Esempi e metodi di controllo completo di apparecchiature chimiche.

Cenni sul controllo a molte variabili e sul problema dell'interazione. Sistemi di controllo di impianti completi. Introduzione all'uso del calcolatore digitale nel controllo di processo.

### Testi consigliati:

J.M. DOUGLAS, *Process Dynamics and Control*, Prentice-Hall, 1972.

W.L. LUYBEN, *Process modelling simulation and control for chemical engineers*, Mc Graw-Hill.

G. STEPHANOPOULOS, *Chemical Process Control*, Prentice-Hall, 1984.

## DINAMICA E CONTROLLO DELLE MACCHINE

BO, cds: M

Docente: **Davide Moro** prof. straord.

### INTRODUZIONE ALLO STUDIO DEI SERVOCOMANDI

Generalità ed esempi di servosistema, dipendenza dell'azione correttiva dall'errore.

### STUDIO MATEMATICO DEI SISTEMI DI CONTROLLO

Determinazione dell'integrale dell'equazione omogenea associata; criterio di stabilità di Routh; determinazione dell'integrale particolare; trasformata secondo Fourier e condizioni di esistenza della trasformata; trasformata secondo Laplace, trasformata di Laplace di alcune funzioni tipiche; proprietà della trasformata di Laplace; studio dei sistemi nel dominio immagine; antitrasformazione mediante l'integrale di convoluzione; antitrasformazione mediante espansione in fratti semplici; calcolo grafico dei coefficienti  $c_k$ ; stabilità dei sistemi.

### STUDIO DELLA STABILITÀ DEI SISTEMI IN RETROAZIONE CON IL METODO DEL LUOGO DELLE RADICI

Luogo delle radici e regole per il suo tracciamento. Esempi numerici di luoghi delle radici partendo dalla mappa di poli e zeri in catena aperta.

### COMPENSAZIONE

Generalità, la compensazione derivatrice o anticipatrice, la compensazione integratrice o ritardatrice, la compensazione integro-derivatrice.

### COMPONENTI TIPICI DI UN SISTEMA DI REGOLAZIONE

Struttura di un sistema di regolazione; amplificatori operazionali elettrici, il regolatore PID elettrico, reti compensatrici elettriche; il tachimetro di Watt.



**IL GRUPPO IDRAULICO CASSETTO MOTORE**

Il cassetto a quattro spigoli pilotanti e ricoprimento negativo; il cassetto a quattro spigoli pilotanti e ricoprimento nullo; il cassetto a due spigoli pilotanti; sistema cassetto motore; sistema cassetto motore in retroazione.

**REGOLAZIONE DI IMPIANTI DI TURBINE A VAPORE**

Regolazione isodromica delle turbine a vapore; regolazione non isodromica; il grado di statismo; regolazione isodromica a statismo transitorio; regolatore di sicurezza.

**REGOLAZIONE DI LIVELLO IN UN SERBATOIO**

Schema dell'impianto e schema a blocchi; considerazioni sulla stabilità e sulla precisione del sistema.

**REGOLAZIONE DELLA TEMPERATURA IN UN FORNO**

Schema dell'impianto e suo schema a blocchi; considerazioni sulla stabilità e sulla precisione del sistema.

**CONTROLLO E DIAGNOSTICA DEI MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA**

La dinamica del collettore d'aspirazione e i sistemi di controllo speed-density, alfa-N. Il sistema di controllo del titolo mediante sonda lambda. La problematica del controllo del titolo durante i transitori di accelerazione. Cenni ai sistemi drive by wire. Sviluppo di un simulatore per l'analisi degli effetti dei transitori sul controllo motore.

La diagnosi dei guasti ai sensori ed attuatori di un motore.

La diagnosi delle mancate accensioni in un motore ad accensione comandata ad elevato numero di cilindri.

L'esame consiste in una prova orale.

**DIRITTO DELL'AMBIENTE L - DIRITTO URBANISTICO**

CE, cds: dud

Docente **Andrea Corinaldesi** prof. inc.

*Diritto urbanistico*

Competenze in materia di urbanistica, territorio, edilizia e loro ripartizione fra Stato, Regioni, Province e Comuni.

Gli strumenti di pianificazione ai diversi livelli: contenuti, procedure di approvazione, modalità di attuazione. Casi di studio.

Parametri e standards edilizi e urbanistici: definizioni e applicazione.

Il Regolamento Edilizio; le Commissioni Edilizie. Casi di studio.

Il rapporto pubblico/privato: la concessione edilizia, l'esproprio, le convenzioni, i programmi integrati, gli accordi di programma.

Cenni storici all'evoluzione della legislazione urbanistica, in rapporto al mutamento dei problemi di governo del territorio e dell'ambiente. Attuali tendenze.

*Diritto dell'ambiente*

Definizioni di ambiente, paesaggio, territorio.

Evoluzione della tutela del paesaggio nella legislazione italiana. La legislazione nazionale e regionale sulle aree protette.

La legislazione ambientale di settore: aria, acqua, suolo, discariche, energia.

La Valutazione di Impatto Ambientale: origini ed evoluzione. La Direttiva CEE, l'istituzione

del Ministero dell'Ambiente, i DPCM del 1988. La legislazione regionale; il caso dell'Emilia-Romagna.

La procedura di VIA e lo Studio di Impatto Ambientale.

Esemplificazioni e casi di studio

*Testi consigliati:*

C. MONTI, *Elementi di Urbanistica*, CLUEB, 2000.

G. RONZANI, *Compatibilità ambientale e piani urbanistici*, CLUEB, 1992.

## **DIRITTO DELL'AMBIENTE**

Docente: **Dario Bortolotti** ric.

**BO, cds: R**

### Sezione I: Diritto dell'ambiente

Nozione giuridica di ambiente. Norme costituzionali. Ripartizione di competenze e legislazione in materia ambientale.

Norme generali sull'igiene pubblica (Cod. Civ., Cod. pen. T.U.L.P.S., T.U.L.S., T.U.L.C.P.). Inquinamento idrico: I, 10 maggio 1976, n. 319 e successive modifiche. I piani di risanamento delle acque. Regolamentazione degli scarichi (civili e industriali).

L'inquinamento del suolo: D.P.R. 10 settembre 1982, n. 915. Smaltimento dei rifiuti. Regime giuridico. I piani e le autorizzazioni. Cenni alla legislazione regionale.

La normativa sulle Materie Prime Secondarie: direttive CEE (n. 442/1975) legislazione statale (l. 475/1988, l. regionale (l. reg. Toscana n. 60/1988; l. reg. Lombardia n. 37/1988), norm. ministeriale (D.M. Ambiente 26/1/1990) e giurisprudenza costituzionale (sentenza n. 512 del 15 ottobre 1990).

La normativa sui rischi di incidenti rilevanti connessi con determinate attività industriali.

La normativa CEE (n. 501/82) e la normativa statale (D.P.R. 175/88).

Inquinamento Atmosferico: la nuova organizzazione amministrativa in tema di emissioni atmosferiche di impianti industriali.

Dalla (1966) al D.P.R. 24 maggio 1988 n. 203, a tutela della gestione amministrativa delle emissioni industriali nell'atmosfera.

La normativa vigente per il controllo degli impianti che producono energia.

La nuova definizione del concetto di (l'interpretazione autentica della Corte Costituzionale nella sentenza n. 127 del 16 febbraio 1990).

### Sezione II: Diritto Minerario

I beni minerari. Qualificazione e condizione giuridica.

Ripartizione di competenze e specifiche discipline giuridiche per: - le miniere; - gli idrocarburi; - le acque minerali e termali; - le cave e torbiere (- le risorse geotermiche).

La l. mineraria 29 luglio 1927, n. 1443. La ricerca mineraria. Le concessioni minerarie. La disciplina giuridica degli idrocarburi. L'ENI e le società del gruppo. La l. 11 gennaio 1957, n. 6. La prospezione e la ricerca di idrocarburi. (l. 21 luglio 1967, n. 613).

Legislazione regionale sulle acque minerali e termali. Legislazione regionale sulle cave e torbiere.

Le norme sulla polizia delle miniere e delle cave. Le norme di incentivazione per le attività estrattive.

La l. 20 febbraio 1985, n. 41 (norme sull'esplorazione e la coltivazione delle risorse minerali dei fondi marini).

Cenni di diritto internazionale e di diritto comparato.

*Testi consigliati:*

- 1) Dispense.
- 2) D. BORTOLOTTI, *Attività industriali e prevenzione dall'inquinamento (Le procedure amministrative)*, Collana "Energia ed Ambiente", Maggioli ed., Rimini, 1991.
- 3) Commentario alla legge 9 dicembre 1986, n. 896, *Disciplina della ricerca e della coltivazione e delle risorse geotermiche*, a cura di F. ROVERSI-MONACO e G. CAIA, pubblicato sulla rivista "Le nuove leggi civili commentate", Cedam, Padova.

**DIRITTO DELLA NAVIGAZIONE AEREA L**

**FO, cds: cla**

Docente: **Anna Masutti** prof. ass.

**Argomenti del corso:**

**1. BENI PUBBLICI DELLA NAVIGAZIONE AEREA**

- Organizzazione degli aeroporti e degli altri impianti aeronautici.

**2. FORME DI GESTIONE DELLE INFRASTRUTTURE AEROPORTUALI**

- Il sistema di gestione degli aeroporti nazionali.
- Il processo di privatizzazione delle società e degli enti gestori di aeroporti.
- I servizi di handling aeroportuale: la disciplina nazionale e comunitaria.

**3. IL REGIME GIURIDICO DEGLI SLOTS**

- Procedure di allocazione: Grandfather's Rule e Use it or Loose it Rule.
- La figura del vettore new entrant.
- La commercializzazione degli slots (il c.d. "secondary trading").

**4. I SERVIZI DI NAVIGAZIONE AEREA NEL QUADRO DI RIFERIMENTO INTERNAZIONALE**

- Le cinque libertà dell'aria: libertà tecniche e libertà commerciali.
- Gli accordi bilaterali, gli accordi multilaterali e gli accordi open skies..
- Gli organi internazionali del trasporto aereo: l'I.C.A.O., la I.A.T.A. e l'A.C.I.

**5. L'ACCESSO AL MERCATO DEI SERVIZI AEREI**

- La disciplina comunitaria dell'accesso al mercato del trasporto aereo.
- La liberalizzazione del mercato.
- Nuove tipologie contrattuali del trasporto aereo di passeggeri: i contratti di code sharing, gli accordi frequent flyer.

**6. LA POLITICA EUROPEA DEL TRASPORTO AEREO**

- La carta dei diritti del passeggero.
- Il progetto del cielo unico europeo.

## 7. PROFILI DI RESPONSABILITÀ DEL VETTORE AEREO

- Danni al passeggero, alle merci e danni da ritardo.
- La disciplina comunitaria dell'overbooking.

Il corso sarà integrato dall'analisi di casi pratici che si svolgerà durante l'orario di lezione. Sono previsti i seguenti seminari:

1) I danni alla persona nel trasporto aereo internazionale.

Responsabile didattico: Dott.ssa Freya Tamburini.

2) La liberalizzazione dei servizi di handling aeroportuale.

Responsabile didattico: Dott.ssa Simona Morelli.

Le date e gli orari dei seminari saranno rese note durante il corso.

La continuità nella partecipazione al corso e ai seminari sarà verificata mediante la raccolta di firme nel registro delle presenze.

L'assidua frequenza al corso (pari al 50% delle lezioni) e ad almeno uno dei seminari, specificamente dedicati all'approfondimento dei temi del corso, consentirà di portare in sede di esame un programma differenziato.

### Libri di testo

Dispense del corso.

Libri per approfondimento.

Si consigliano:

- A. LEFEBVRE D'OVIDIO – G. PESCATORE – L. TULLIO, *Manuale di diritto della navigazione*, Milano, Giuffrè, 2000, 9a ed., (cap. IV, sez. III; cap. V, sez. II, §§148 e 149; cap. V, sez. V, §§160 e 161; cap. XIII, sez. V, §§ 392-397, §§428-430).
- G. SILINGARDI – S. ZUNARELLI, *Casebook di diritto della navigazione e dei trasporti*, Torino, Giappichelli, 1998 (solo: parte I).

## DISEGNO ASSISTITO DAL CALCOLATORE L

BO, cds: N

Docente: **Gianni Caligiana** prof. straordinario.

### Finalità del corso

Il corso ha lo scopo di fornire le basi necessarie per la comprensione delle caratteristiche principali dei più moderni programmi di Disegno Assistito dal Calcolatore (CAD) e per il corretto uso di tali programmi nell'ambito del Disegno Tecnico. Il corso si compone di una prima parte dedicata a garantire agli studenti l'apprendimento dei basilari rudimenti del Disegno Tecnico Industriale. Nella seconda parte del corso vengono affrontati i temi propri della progettazione assistita dal calcolatore e vengono descritte le principali metodologie utilizzate nella *modellazione, modifica, trasformazione di coordinate e visualizzazione* di curve, superfici e solidi. Durante tutto il corso sono previste delle *esercitazioni* pratiche in cui vengono spiegate ed assegnate alcune tavole relative a *componenti meccanici* o a *schemi di impianti*. Nell'ambito delle esercitazioni vengono forniti i concetti base per permettere agli studenti lo svolgimento delle tavole utilizzando un programma di disegno bidimensionale (AutoCAD) ed un modellatore solido tridimensionale (Solid Edge).

### Programma

*Strumenti convenzionali* per il disegno. Linee e scritturazioni unificate. Scelta formati e scale.

**Strumenti non convenzionali per il disegno.** Descrizione dell'hardware e delle principali periferiche (tastiera, mouse, tavolette digitalizzatrici, scanner; dispositivi di visualizzazione vettoriali e raster-scan, dispositivi hard-copy, ecc.). Funzioni assolute dal software.

Il metodo delle *proiezioni ortogonali*.

*Sezioni e compenetrazioni* di solidi.

*Norme e convenzioni* nel disegno tecnico. Criteri generali di *quotatura*. Numeri di Renard. Disegni di insieme (complessivi) e disegni di particolare. *Quotatura funzionale*. Influenza dei *metodi di produzione* sul disegno e la quotatura dei pezzi. *Quotatura di fabbricazione e controllo*. Catene di *quote tollerate*.

*Tolleranze dimensionali. Trasferimento* di quote (dalla quotatura funzionale a quella di fabbricazione). Definizione ed indicazione della *rugosità* delle superfici.

Il *processo di progettazione*: ruolo del disegno tecnico e del CAD, gestione del progetto, progettazione simultanea. Architettura di un sistema CAD. Vantaggi e limiti di un sistema CAD. Cenni ai sistemi di analisi e produzione correlati (CAM, FEM, ecc.).

Principi di modellazione geometrica delle *curve* (forma algebrica e geometrica, curva parametrica cubica, curva di Bezier, spline e B-spline, NURBS).

*Sistemi di coordinate* (cartesiane, cilindriche, omogenee), *sistemi di riferimento e trasformazioni* (traslazioni, rotazioni, trasformazioni di scala, simmetria, riflessione, ecc.)

Principi di modellazione geometrica delle *superfici* (forma algebrica e geometrica).

*Modellazione geometrica tridimensionale*:

- approccio Wire Frame;
- approccio CSG e B-rep;
- confronto CSG e B-rep.

Il disegno *parametrico* ed il disegno *variazionale* (concetti ed esempi).

Cenni alle tecniche di *visualizzazione*.

## Esercitazioni

Verranno svolte tavole in laboratorio relative a componenti meccanici o impianti industriali utilizzando i seguenti pacchetti CAD:

- AutoCAD
- Solid Edge.

Durante le esercitazioni verranno esaminati alcuni disegni d'insieme allo scopo di individuare i principali componenti preposti al *collegamento*, alla *guida* ed alla *trasmissione* del moto. Lo studente sarà messo in grado di comprendere le modalità di funzionamento dei componenti stessi e la loro corretta rappresentazione.

## Esame

L'esame consta di una prova *grafica* e di una *orale*.

La prova *grafica* viene eseguita disegnando semplici componenti meccanici con gli stessi programmi CAD adoperati per le esercitazioni durante il corso

La prova *orale* è basata sul programma svolto a lezione durante il corso e sulla discussione degli elaborati grafici.

## Testi consigliati

UNI M1, *Norme per il disegno tecnico*, vol. 1, 2, pubblicato a cura dell'Ente Nazionale Italiano di Unificazione, piazza Armando Diaz 2, 20123 Milano.

MANFÈ, POZZA, SCARATO, *Disegno meccanico*, vol. 1, 2, 3, ed. Principato, Milano.

CHIRONE, TORNINCASA, *Disegno Tecnico Industriale*, ed. Il Capitello, Torino.

CONTI, *Disegno tecnologico*, vol. 1, 2, ed. Pitagora, Bologna.

MCMAHON, BROWNE, *CADCAM, from principles to practise*, Addison-Wesley Publ.

MORTENSON, *Modelli geometrici in computer graphics*, McGraw-Hill.

*Manuale AutoCAD* (almeno per la versione 2000).

*Esempi di Solid Edge* reperibili nell'opportuno comparto del menu aiuti (help) del programma o in rete (sito [www.solid-edge.com](http://www.solid-edge.com)).

## DISEGNO ASSISTITO DAL CALCOLATORE L

FO, cds: cla, clm

Docente: Luca Piancastelli prof. straord.

1. La progettazione automatica in campo strutturale: il disegno delle strutture tramite CAD, dal CAD alla preparazione dei dati per il calcolo strutturale, il calcolo matriciale delle strutture.

2. Principi di modellazione geometrica: le curve (forma algebrica e geometrica, curva parametrica cubica, curve di Bezier, curve spline e B-spline, intersezione di curve, proprietà intrinseche), le superfici (forma algebrica e geometrica), i solidi (forma algebrica e geometrica), le trasformazioni.

3. Il CAD 2D ed il CAD3D: cenni sull'architettura dei computers e delle periferiche, principali modalità di modellazione solida, modelli booleani, modellazione interattiva delle superfici parametriche, cenni sui principali software grafici, ruolo del CAD nell'azienda, le immagini fotorealistiche sul calcolatore, l'animazione, cenni su principali software grafici.

4. Generazione automatica di una maglia: il metodo dei punti chiave e il metodo di Voronoi.

5. Calcolo automatico delle strutture: concetto di discretizzazione (reticolari, telai, strutture continue), metodo degli elementi finiti (l'elemento triangolare a 3 nodi, i gradi di libertà, le funzioni di forma, le regole di convergenza, gli elementi di ordine superiore, l'errore di discretizzazione), equazione di equilibrio discreta col principio dei lavori virtuali (matrice di rigidezza, vettori equivalenti dei carichi, calcolo delle tensioni), il calcolo delle reticolari, il calcolo dei telai, il calcolo delle strutture bidimensionali, i codici di calcolo commerciali.

Oltre alle lezioni di teoria saranno svolte esercitazioni col calcolatore per il disegno di un mezzo meccanico, la sua discretizzazione ed il calcolo strutturale.

### Testi consigliati

MORTENSON M.E., *Modelli geometrici*, Mac-Graw-Hill Italia, 1989.

GEORGE P.L., *Automatic Mesh Generation*, John Wiley, 1991.

CESARI F., *Introduzione al metodo degli elementi finiti*, Ed. Pitagora, 1995.

CESARI F., *Calcolo matriciale delle strutture*, Ed. Pitagora, 1994.

CESARI F., *Calcolo automatico di telai e strutture piane*, Ed. Pitagora, 1996.

## DISEGNO AUTOMATICO L

CE, cds: dud

Docente: Stefano Cinti Luciani prof. inc.

Il corso si articola in una serie di lezioni volte a fornire le basi teoriche dell'uso del calcolatore come strumento di costruzione di modelli e rappresentazioni col computer ed in una parte pratica costituita da esercitazioni con strumenti informatici.

Il corso si propone di fornire i fondamenti della computer grafica come strumento per il dise-

gno, la modellazione geometrica e la rappresentazione.

Saranno trattati gli aspetti metodologici della grafica computerizzata partendo dalle basi informatiche specifiche fino a sviluppare una conoscenza critica degli strumenti e delle loro potenzialità.

*Argomenti delle lezioni saranno:*

CAD, Computer Grafica e multimedialità in relazione alle attività di progettazione e di rappresentazione;

Strumenti informatici per la computer grafica (dispositivi di input/output, supporti per la memorizzazione, linguaggi grafici, reti locali e geografiche);

Strutture dati grafiche (rappresentazione raster e vettoriale, primitive grafiche, spazio 2D e 3D, display-list, gerarchia, rappresentazioni esatte ed approssimate);

Tecniche di interazione col calcolatore (ambienti e metafore, finestre, barre di strumenti e aree di dialogo, drag & drop, taglia e cuci, interazioni grafiche);

Programmi di disegno e di modellazione, modalità d'uso e concetti fondamentali. Il disegno tecnico con il calcolatore;

Modellazione 3D: wireframe, superfici e solidi (brevi cenni storici, modalità di rappresentazione e strutture dati, rappresentazione CSG e B-rep, concetto di topologia, strutture non manifold);

Rappresentazione di modelli tridimensionali (proiezioni parallele e prospettiche, punto di vista, centro focale, cono di vista, orizzonte);

Modelli del colore, tecniche di rendering e modelli di illuminazione, attributi dei materiali e textures.

*Modalità d'esame*

Lo studente dovrà aver raggiunto buona padronanza sia degli aspetti teorici e metodologici sia di quelli pratici del corso. Oltre a una discussione sugli argomenti del corso ed una valutazione sul lavoro sviluppato individualmente nell'ambito delle esercitazioni, lo studente sarà chiamato a dimostrare il livello di capacità raggiunto nelle attività di disegno, modellazione e comunicazione con l'ausilio del calcolatore.

*Bibliografia*

W. M. NEWMANN, R. F. SPOULL, *COMPUTER GRAPHICS*, McGraw Hill Libri, Milano 1986.

S. CINTI LUCIANI, M. A. CRIPPA, R. MINGUCCI, *Il CAD nell'Ingegneria Civile*, Esculapio, Bologna 1989.

W. J. MITCHELL, M. MCCULLOUGH, *Digital Design Media*, McGraw Hill, Milano 1996.

**DISEGNO DELL'ARCHITETTURA I**

Docente: **Fabrizio I. Apollonio ric.**

**BO, cds: D**

Il corso si propone di indirizzare l'allievo all'impiego dei procedimenti, delle tecniche e dei metodi per la rappresentazione grafica ai fini delle problematiche analitiche, progettuali e sintetiche proprie dell'Ingegneria Edile.

Attraverso le lezioni teoriche, le esercitazioni e l'attività di laboratorio si intende sviluppare una consapevolezza della forma, del grado di istruzione visiva e della capacità di pensare in maniera astratta e analitica.

Il disegno è inteso non come il mero processo meccanico di notazioni grafiche, ma il mezzo comunicativo a livello esplicativo e progettuale per la rappresentazione grafica di ogni oggetto nel piano e nello spazio.

### *Programma*

Il disegno tecnico e quello a mano libera: finalità, strumenti, attrezzature, norme ed unificazioni, tecniche di riproduzione dei disegni. Il disegno di figure geometriche piane e di solidi semplici. Scale di rappresentazione: i rapporti di scala più appropriati alle finalità documentative; le problematiche insite nella rappresentazione alle varie scale. Problemi di percezione visiva e di figurazione della forma. Geometria e genesi progettuale. Geometria come forma di costruzione del progetto. Quotatura del disegno: scopo e criteri di quotatura; sistema di quote e scelta dei riferimenti. Normativa UNI Metodi di rappresentazione. La geometria proiettiva grafica: proiezioni, prospettività, omologia. Proiezioni ortogonali. Metodo della doppia proiezione. Metodi di proiezione multipli. Enti geometrici fondamentali. Condizioni di appartenenza, parallelismo, ortogonalità. Superfici semplici e complesse: rigate, di rotazione, elicoidali. Prismoidi e cilindroidi: sezioni piane; innesti e raccordi. Proiezioni oblique. Teoria delle ombre ed applicazioni. Ombre tecniche. Proiezioni assonometriche (ortogonali ed oblique). Assonometrie unificate. Ombre in assonometria. Proiezioni centrali. Prospettiva concorrente (frontale ed accidentale) Ombre in prospettiva. Disegno di elementi edili: Archi e volte. Sistemi di collegamento verticale. Sistemi di coperture. Eliche ed elicoidi. Superfici rigate. Disegno dei serramenti. Rappresentazione degli elementi strutturali e costruttivi: Capriate e travi in legno. Capriate strutture in acciaio. Travi e strutture in c.c.a. Rappresentazione degli impianti tecnici nell'edilizia. Rappresentazione grafica negli interventi di recupero. Proiezioni quotate: planimetria; profilo. Il disegno del territorio e della città. Cartografia Lettura degli elementi cartografici di base.

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni, utili allo studente per esercitarsi nell'uso delle tecniche grafiche e proiettive, nonché nel disegno a mano libera, costituiranno un momento di approfondimento e di applicazione dei temi a carattere teorico.

Nell'ambito delle esercitazioni saranno sviluppati una serie di elaborati grafici, su fogli di carta formato A2 (150 gr/mq) che tratteranno i seguenti temi:

- Costruzioni geometriche e Geometria descrittiva
- Sezioni piane ed intersezioni di solidi
- Disegno di ordini ed elementi architettonici
- Disegno di volte
- Disegno tecnico

### *Laboratorio*

Nel corso dello svolgimento dell'attività di laboratorio gli studenti approfondiranno un tema riguardante la rappresentazione dell'architettura. In particolare, attraverso una serie di elaborati grafici e con l'ausilio di qualsiasi metodo di rappresentazione, lo studente sarà chiamato a descrivere, spiegare, rappresentare un oggetto di architettura nella sua interezza, nella sua complessità e articolazione spaziale.

### *Esame*

Prova grafica relativa ai metodi di rappresentazione trattati durante il corso: proiezioni ortogonali, ombre tecniche, prospettiva.

Prova orale articolata in due fasi distinte:



- colloquio ed esercizi di sintesi inerenti gli argomenti trattati nel corso delle lezioni e delle esercitazioni.

- esposizione e valutazione degli elaborati grafici prodotti nell'ambito del Laboratorio

### Bibliografia

M. DOCCI, D. MAESTRI, *Scienza del disegno*, Torino, UTET, 2000.

M. DOCCI, *Manuale di disegno architettonico*, Bari, Laterza, 1992.

C. BONFIGLI, C.R. BRAGGIO, *Geometria descrittiva e prospettiva con applicazioni ed esercizi*, Milano, Hoepli.

R. MINGUCCI, *Esercizi di disegno edile*, Bologna, Patron 2001.

AA. VV., *Manuale dell'architetto*, Roma.

F. FATTA, *Geometria: avventura dello spazio e immagini della ragione*, Reggio Calabria, Jason, 1998.

A. SCROSSO, *La rappresentazione geometrica dell'architettura. Applicazioni di geometria descrittiva*, Torino, Utet, 1996.

F. MIRRI, *La rappresentazione tecnica e progettuale*, Roma, NIS, 1990.

A. PRATELLI, *Il disegno di architettura*, Milano, Charta, 1994.

AA. VV., *Teorie e metodi del disegno*, a cura di M. Borgherini, Milano, CittàStudi, 1994.

ENTE NAZIONALE DI UNIFICAZIONE, *MI Norme per il disegno tecnico (I. Norme generali, II. Edilizia e settori correlati)*, Milano.

M. DOCCI, F. MIRRI, *La redazione grafica del progetto architettonico*, Roma, NIS, 1989.

M. DOCCI, R. MIGLIARI, *Scienza della rappresentazione. Fondamenti e applicazioni di geometria descrittiva*, Roma, NIS, 1992.

### DISEGNO DELL'ARCHITETTURA I

CE, cds: dud

Docente: **Cristiana Bartolomei** prof. inc.

#### Obiettivo del Corso:

- introdurre alla conoscenza dell'ambiente architettonico ed urbano al fine di comprendere e rappresentare, nelle varie scale congruenti agli obiettivi della comunicazione, lo "spazio" ed il "luogo" e le loro componenti;
- fornire gli elementi fondamentali per la corretta e completa analisi e misurazione dell'oggetto costruito e delle sue componenti, al fine di una sua completa ed articolata rappresentazione;
- sviluppare la conoscenza delle tecniche di rappresentazione, comprese quelle inerenti la nuova strumentazione digitale del disegno.

#### Argomenti trattati

La strumentazione per il disegno di progetto: dallo schizzo al modello digitale.

Il disegno interattivo: dal processo tradizionale al file della rappresentazione digitale.

Studio analitico delle fasi del processo progettuale (di ideazione, progettazione, costruzione ed evoluzione dell'oggetto architettonico) e delle relative tecniche di rappresentazione e di sintesi grafiche e modellistiche.

Rappresentazione dello spazio architettonico: dal grafo e diagrammi di forma, alla rappresentazione costruttiva.

Il disegno come mezzo di documentazione e di studio: rappresentazione del contesto urbano ed architettonico

I metodi di rappresentazione in funzione del processo di comunicazione del progetto.

Lettura e rappresentazione del territorio: percorsi e insediamenti. Individuazione e rappresentazione delle fasi di formazione e trasformazione del tessuto urbano.

Analisi e rappresentazione, alle diverse scale, dell'organismo edilizio: componenti funzionali e di sistema costruttivo.

#### *Esercitazioni*

Rappresentazione nelle opportune scale di un manufatto architettonico previa rappresentazione a schizzo.

*Esame:* prova orale

#### *Bibliografia*

DOCCI, M., MIRRI, F., *La redazione grafica del progetto architettonico*, Roma, N.I.S. 1989.

### **DISEGNO DI MACCHINE**

**BO, cds: M**

Docente: **Franco Persiani** prof. ord.

A seguito della evoluzione del Disegno Tecnico Industriale, passato dalla rappresentazione degli organi delle macchine alla odierna simulazione virtuale di sistemi meccanici e dei processi industriali, l'Insegnamento si propone di fornire strumenti conoscitivi per l'integrazione dei moderni metodi di progettazione del macchine. L'Insegnamento si compone di tre fasi:

- fase teorica di lezione
- fase pratica di esercitazione, ove presso il centro di calcolo della facoltà vengono utilizzati strumenti CAD
- fase di lavoro di gruppo, ove gli studenti, suddivisi in gruppi omogenei, dovranno sviluppare progetto

#### *Il processo di progettazione*

- Definizione di progettazione - Progettazione in ambito ingegneristico - Modelli del processo di progettazione - Ruolo del disegno tecnico industriale nella progettazione - Ruolo della modellazione nella comunicazione - Tipi di modelli nel progetto - Modelli del prodotto - Interpretazione delle informazioni del progetto - Modellazione mediante tecniche CAD

#### *Rappresentazione delle curve*

- Tipi di rappresentazione delle curve - Curve parametriche - Curve polinomiali cubiche - Curve di Bezier - Curve Spline - Curve Bspline - Polinomi razionali: le NURBS

#### *Sistemi di coordinate, sistemi di riferimento e trasformazioni*

- Sistemi di coordinate: Coordinate Cartesiane, Coordinate Cilindriche, Coordinate Sferiche o Polari, Coordinate Omogenee

- Sistemi di riferimento: locale, globale, dell'osservatore, di vista

- Trasformazioni: Traslazioni, Rotazioni, Trasformazioni di scala, Simmetria e Riflessione

#### *Rappresentazione delle superfici*

- Tipi di rappresentazione delle superfici: Porzione di Superfici (Surface patch), Superfici Rigate, Superfici Bilineari (Coons patch), Superfici Bicubiche (Bicubic patch), Superfici di Bèzier, Superfici spline/NURBS, Superfici Cilindriche, Superfici di Rivoluzione

**Il lofting**

- Procedura tradizionale - Lofting conico

**Modellazione geometrica tridimensionale**

- Approccio Wire Frame - Approccio CSG e B-rep - Confronto CSG vs. B-rep - Modellazione ad Elementi Finiti (FEM) - Griglie computazionali

**La geometria associativa**

- Il disegno parametrico ed il disegno variazionale: concetti ed esempi - Caratteristiche di forma (Design by Features)

**Il disegno**

- Nella progettazione - Nella produzione - Tipi di disegni - Prototipazione virtuale e simulazione

**Tecniche di visualizzazione**

- Concetti fondamentali del rendering - Tipi di illuminazione - Modelli di riflessione - Algoritmi di Shading - Ray tracing - Radiosity - Metodi di controllo dell'animazione

**Esercitazioni**

- Utilizzo di programmi CAD presso il Centro di Calcolo della Facoltà
- Svolgimento di un progetto di gruppo

**Software cad consigliato**

- Microstation v5 o v95
- Solid Edge

**Libri di testo**

Dispense del corso.

AA.VV., *Disegno Tecnico Industriale*, Consorzio Net.T.Un.O., Pitagora, 1996.

Manuale UNI MI.

**Libri per esercitazione**

A. YARWOOD, *An Introduction to Microstation 95*, Longman (Consigliato).

T. SYNNOTT, R. McELLIGOTT, *Microstation 95 exercise book*, Onword press.

HAQUE, HENDRICK, WILLIAMS, *Adventure in microstation 3D*, Onword press.

N.A. OLSON, *Microstation 95*, Mc Graw-Hill.

**Libri per approfondimento**

C. McMAHON, J. BROWNE, *CAD/CAM: from principles to practice*, Addison-Wesley.

M.E. MORTENSON, *Modelli geometrici in computer graphics*, Mc Graw-Hill.

**Esame**

L'esame è diviso in due fasi distinte:

1. presentazione di un progetto di gruppo (viene fatta in una unica giornata per tutti i gruppi). La presentazione deve essere fatta con ausilio di programmi informatici tipo "MS Office"
2. esame individuale che consiste in una fase orale più verifica delle tavole di disegno svolte ad esercitazione (si richiede di portare la stampa delle tavole o il dischetto dei file).

**Propedeuticità consigliate**

- Disegno Tecnico Industriale
- Scienza delle Costruzioni

**Tesi di laurea**

Si propongono tesi su numerosi argomenti quali:

- CAD
- Realtà Virtuale
- Metodi di ottimizzazione con utilizzo di algoritmi genetici, logica fuzzy, automi cellulari
- Tesi di argomento aeronautico

**DISEGNO L****BO, cds: C**

Docente: **Ottorino Marinoni ric.**

**Obiettivi**

Il corso si propone di indirizzare l'allievo all'impiego dei metodi di rappresentazione di oggetti propri dell'Ingegneria, comprendendone le particolarità. Nel "dare disposizioni" agli operatori, per la produzione di manufatti, è necessario un elevato grado di chiarezza, che deriva dal rispetto delle norme del disegno tecnico.

Risultati attesi dal lavoro didattico:

- conoscenza del linguaggio convenzionale del disegno tecnico:
  - regole della geometria proiettiva,
  - convenzioni grafiche,
- conoscenza della tecnica del disegno: manuale tradizionale o CAD, a scelta (vedi oltre).

**Argomenti.**

Generalità:

- Norme ed unificazioni. Strumenti. Tecniche di riproduzione.
- Convenzioni grafiche. Scale di rappresentazione. Quote.

La rappresentazione tecnica:

- Proiezioni ortogonali.
- Doppia proiezione di Monge. Proiezioni multiple.
- Enti geometrici fondamentali. Condizioni di appartenenza, parallelismo, ortogonalità.
- Solidi a facce piane. Sezioni piane. Intersezioni solide.
- Solidi di rotazione. Cono, cilindro, sfera. Sezioni piane, innesti, raccordi.
- Teoria delle ombre e applicazioni.
- Ombre tecniche.
- Proiezioni quotate.
- Condizioni di appartenenza, parallelismo, ortogonalità.
- Intersezioni. Planimetria, profilo.
- Rappresentazione grafica convenzionale del territorio.

La rappresentazione tridimensionale:

- Proiezioni oblique. Assonometria.
- Proiezione ass. obliqua e ortogonale.
- Condizioni di appartenenza, parallelismo, ortogonalità.
- Assonometrie unificate.

- Ombre in assonometria.
- Proiezioni coniche. Prospettiva.
- Prospettiva concorrente (frontale, accidentale).
- Metodi (proiettanti, pianta prospettica, punti di misura, punti di distanza).
- Ombre in prospettiva.
- Restituzione grafica di oggetti tramite prospettiva inversa.

#### Disegno di strutture edilizie.

- Progetto di massima (scala 1:200).
- Progetto definitivo (scala 1:100).
- Progetto esecutivo (scala 1:50).
- Particolari costruttivi (scale utili).

#### Esercitazioni

Gli studenti eseguiranno a mano disegni tecnici su fogli di formato A3 non rifilato, a matita su carta bianca e a china su carta lucida, con l'uso di una strumentazione leggera. I disegni possono essere eseguiti anche con programmi CAD (la revisione avverrà con stampati su carta bianca).

Gli elaborati avranno un cartiglio, in basso a destra, sul modello che segue, e verranno presentati in una cartella formato 35 x 50. I files degli elaborati CAD saranno consegnati raccolti in CD.

L'attività pratica del corso prevede la realizzazione di grafici secondo diverse modalità.

#### 1. Elaborati individuali:

Disegni a carattere teorico, con contenuti di geometria proiettiva.

Numero e argomento dei disegni saranno indicati durante le lezioni.

#### 2. Elaborati di gruppo (max 2/3 persone):

Rappresentazione tecnica di edifici.

Il tema verrà assegnato dal docente, che definirà con il gruppo i disegni da eseguire.

#### Esame

Il raggiungimento degli obiettivi verrà verificato individualmente con prove grafiche e orali.

#### 1- PROVE GRAFICHE IN ITINERE

Durante lo svolgimento del corso, gli studenti potranno sottoporsi a 3 prove ex-tempore.

Qualora la media delle valutazioni superi i 20/30 lo studente sarà ammesso all'esame orale.

Salvo problemi organizzativi, le prove avverranno alle date: 17/10; 31/10; 28/11.

#### 2- PROVA GRAFICA

Lo studente che non ha eseguito le prove in itinere o che non ha ottenuto la media minima, potrà svolgere la prova d'esame, al termine del corso, nei due appelli previsti per ogni sessione.

La prova grafica d'esame è ripetibile; conseguito il risultato positivo, essa vale per l'anno accademico di iscrizione al corso.

#### 3- PROVA ORALE

Verifica individuale, con risoluzione di esercizi elementari con forte contenuto teorico, tramite schizzi eseguiti a mano libera. Gli studenti, dopo aver superato le prove grafiche, devono dimostrare di avere completato le tavole individuali e di gruppo. Con un certo anticipo rispetto alle date di esame orale, verranno svolti incontri per la verifica finale dei lavori grafici.

**Bibliografia.**

Testi base (a cui si fa riferimento nel corso delle lezioni):

M. DOCCI, D. MAESTRI, *Scienza del disegno*, Torino, Utet, 2000.

R. BALLETTI, V. VALERIANI, *Disegno tecnico*, Bologna, Editore Pitagora, 1989.

AA.VV., *Manuale dell'architetto*, Roma, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 1962.

AA.VV., *Manuale di progettazione edilizia*, Milano, Hoepli, 1988.

**Testi di approfondimento:**

U. SACCARDI, *Applicazioni di geometria descrittiva*, Firenze, LEF, 1977

M. DOCCI, R. MIGLIARI, *Scienza della rappresentazione*, Bari, Ed. NIS, 1992.

**DISEGNO TECNICO AEROSPAZIALE L -****DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE L****FO, cds: cla, clm**

Docente: **Luca Piancastelli** prof. straord.

**Finalità del corso:**

L'Insegnamento tratta le tecniche impiegate per descrivere le forme di un manufatto o simulare processi di interesse per l'Ingegneria Meccanica. Dopo una prima parte dedicata al disegno geometrico, vengono esaminate le principali norme da impiegare per la corretta rappresentazione di particolari e complessivi.

Sono previste delle esercitazioni pratiche in cui vengono spiegate ed assegnate alcune tavole relative a componenti meccanici o a schemi d'impianti che lo studente esegue durante il corso o, comunque, presenta al Docente all'atto della prova d'esame.

**Programma:**

Strumenti convenzionali per il disegno. Linee e scritturazioni unificate. Scelta formati e scale. Cenni sugli strumenti non tradizionali per il disegno.

Costruzioni geometriche fondamentali.

Il metodo delle proiezioni ortogonali.

Vera forma di superfici piane. Intersezioni e sezioni piane.

Compenetrazione di solidi.

Proiezioni assonometriche oblique ed ortogonali.

Norme e convenzioni nel disegno tecnico. Viste e sezioni. Criteri generali di quotatura. Numeri di Renard.

Disegni d'insieme (complessivi) e disegni di particolare. Quotatura funzionale (cenni). Influenza dei motori di produzione sul disegno e la quotatura dei pezzi. Quotatura di fabbricazione e controllo. Cenni al trasferimento di quote (dalla quotatura funzionale a quella di fabbricazione).

Sistema ISO di tolleranze. Definizione ed indicazione della rugosità delle superfici.

Materiali. Prove di laboratorio: trazione (cenni). Designazione e classificazione degli acciai, delle ghise, delle leghe di rame, alluminio, magnesio. Criteri per la scelta dei materiali.

Collegamenti. Filettature. Collegamento albero-mozzo (linguette, chiavette, profili scanalati, anelli elastici, ecc.). Chiodature, rivettature, saldature.

Articolazioni e guide. Guide al moto rettilineo. Guide al moto rotatorio (cuscinetti radenti e

volventi). Sistemi di lubrificazione.

Trasmissioni meccaniche. Alberi, giunti, innesti, ruote di frizione, ruote dentate.

*Esame:*

L'esame consta di una prova scritta e di un orale.

La prova scritta consiste in alcune domande di teoria e nell'esecuzione di una prova grafica (analoga ad una delle tavole assegnate durante le esercitazioni).

La prova orale è basata sul programma svolto a lezione durante il corso e sulla discussione degli elaborati grafici.

*Testi consigliati:*

UNI M1, Norme per il disegno tecnico, vol. 1, 2, pubblicato a cura dell'Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Piazza Armando Diaz 2, 20123 Milano.

CHIRONE, TORNINCASA, *Disegno Tecnico Industriale*, ed. Il Capitello, Torino.

STRANE, CONSORTI, *Disegno di Costruzioni Meccaniche*, vol. 1, 2, ed. Principato, Milano.

MANFÈ, POZZA, SCARATO, *Disegno meccanico*, vol. 1, 2, 3, ed. Principato, Milano.

CONTI, *Disegno tecnologico*, vol. 1, 2, ed. Pitagora, Bologna.

SOBRERO, *Corso di Disegno*, solo vol. 1, ed. Pitagora, Bologna.

FILIPPI, *Disegno di Macchine*, vol. 1, 2, ed. Hoepli, Milano.

## DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE L

Docenti: **Gianni Caligiana** prof. straord.

**BO, cds: M (A-K)**

### Finalità del corso

Il corso ha lo scopo di fornire le basi necessarie per l'interpretazione e l'esecuzione del disegno tecnico. Dopo una prima parte dedicata al *disegno geometrico*, vengono esaminate le principali norme da impiegare per la corretta rappresentazione di particolari e disegni d'assieme (complessivi). Viene dato particolare rilievo alla *funzione* svolta da ciascun particolare nel complessivo ed all'influenza del *sistema produttivo* per una corretta scelta delle forme ed un'accurata indicazione delle informazioni aggiuntive da includere (dimensioni, errori dimensionali e geometrici ritenuti accettabili, ecc.). Sono previste delle *esercitazioni* pratiche in cui vengono spiegate ed assegnate alcune tavole relative a *componenti meccanici* o a *schemi di impianti* che lo studente esegue durante il corso o, comunque, presenta al Docente all'atto della prova d'esame. Su base volontaria, gli studenti che ne facciano richiesta possono svolgere, utilizzando un *programma di disegno assistito dal calcolatore* di propria scelta, alcune tavole personalizzate assegnate singolarmente.

### Programma

*Strumenti convenzionali* per il disegno. Linee e scritturazioni unificate. Scelta formati e scale.

*Strumenti non convenzionali* per il disegno. Architettura di un sistema CAD. Descrizione dell'hardware e delle principali periferiche (tastiera, mouse, tavolette digitalizzatrici, scanner; dispositivi di visualizzazione vettoriali e raster-scan, dispositivi hard-copy, ecc.). Funzioni assolute dal software. Vantaggi e limiti di un sistema CAD.

*Costruzioni geometriche* fondamentali.

Il metodo delle *proiezioni ortogonali*.

*Vera forma di superfici piane. Intersezioni e sezioni piane.*

*Compenetrazione di solidi.*

*Sviluppo delle superfici.*

*Proiezioni assonometriche oblique ed ortogonali.*

*Norme e convenzioni nel disegno tecnico. Viste e sezioni. Criteri generali di quotatura. Numeri di Renard. Disegni di insieme (complessivi) e disegni di particolare. Quotatura funzionale. Influenza dei metodi di produzione sul disegno e la quotatura dei pezzi. Quotatura di fabbricazione e controllo. Catene di quote tollerate.*

*Tolleranze dimensionali. Trasferimento di quote (dalla quotatura funzionale a quella di fabbricazione). Definizione ed indicazione della rugosità delle superfici. Tolleranze geometriche. Principio del massimo materiale.*

*Materiali. Prove di laboratorio: trazione, resilienza, durezza. Designazione e classificazione degli acciai, delle ghise, delle leghe di rame, alluminio, magnesio. Cenno ai materiali non metallici. Criteri per la scelta dei materiali.*

*Collegamenti. Filettature. Collegamenti albero-mozzo (linguette, chiavette, profili scanalati, anelli elastici, ecc.). Chiodature, rivettature, saldature, collegamenti mediante incollaggio.*

*Articolazioni. Guide al moto rettilineo. Guide al moto rotatorio (cuscinetti radenti e volventi). Sistemi di lubrificazione. Organi di tenuta (statica e dinamica).*

*Trasmissioni meccaniche. Alberi, giunti, innesti, cinghie e pulegge, catene a rulli, cinghie dentate, ruote di frizione, ruote dentate, coppie vite-madrevite, camme, biella-manovella.*

## Esame

L'esame consta di una prova scritta e di una orale.

La prova scritta si articola in due fasi:

- una prova scritta con domande di teoria
- una prova grafica (analogia ad una delle tavole assegnate durante le esercitazioni).

La prova orale è basata sul programma svolto a lezione durante il corso e sulla discussione degli elaborati grafici.

## Testi consigliati

UNI M1, *Norme per il disegno tecnico*, vol. 1,2, pubblicato a cura dell'Ente Nazionale Italiano di Unificazione. piazza Armando Diaz 2, 20123 Milano.

MANFÈ, POZZA, SCARATO, *Disegno meccanico*, vol. 1, 2, 3, ed. Principato, Milano.

CONTI, *Disegno tecnologico*, vol. 1, 2, ed. Pitagora, Bologna.

CHIRONE, TORNINCASA, *Disegno Tecnico Industriale*, ed. Il Capitello, Torino.

SOBRERO, *Corso di Disegno*, solo vol. 1, ed. Pitagora, Bologna.

FILIPPI, *Disegno di Macchine*, vol. 1, 2, ed. Hoepli, Milano.

STRANEO, CONSORTI, *Disegno di Costruzioni Meccaniche*, vol. 1, 2, ed. Principato, Milano.

## DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE

Docente: **Alfredo Liverani** prof. ass.

**BO, cds: M (L-Z)**

L'Insegnamento tratta le tecniche impiegate per descrivere le forme di un manufatto o per simulare processi di interesse per l'Ingegneria Meccanica, fornendo le basi necessarie per l'interpretazione e l'esecuzione del disegno. Una parte è dedicata alle metodologie classiche della rappresentazione partendo dal *disegno geometrico* ed esaminando le principali *norme* da impiegare



per la corretta rappresentazione di particolari e complessivi; un'altra parte è dedicata alle tecniche di *modellazione geometrica* che sono alla base dell'impiego degli elaboratori per la rappresentazione e la progettazione meccanica.

*Strumenti per il disegno.* Linee e scritturazioni unificate. Scelta formati e scale. *Costruzioni geometriche* fondamentali. Il metodo delle *proiezioni* ortogonali. *Vera forma* di superfici piane. *Intersezioni e sezioni piane.* *Compnetrazione* di solidi. *Sviluppo* delle superfici. *Proiezioni assonometriche* oblique ed ortogonali. *Norme e convenzioni* nel disegno tecnico. Viste e sezioni. Criteri generali di *quotatura*. Numeri di Renard. Disegni di insieme (complessivi) e disegni di particolare. *Quotatura funzionale.* Influenza dei *metodi di produzione* sul disegno e della *quotatura* dei pezzi. *Quotatura di fabbricazione e controllo.* *Tolleranze dimensionali* e catene di quote con tolleranza. *Tolleranze geometriche.* *Qualità* delle superfici. *Materiali.* Prove di laborazione: trazione, resilienza, durezza (cenni relativi alle prove di fatica). Designazione e classificazione degli acciai, delle ghise, delle leghe di rame, alluminio, magnesio. Cenni ai materiali non metallici e ai compositi. Criteri per la scelta dei materiali. *Collegamenti* (filettature, collegamenti albero-mozzo, chiodature, saldature, collegamenti mediante incollaggio). *Articolazioni.* Guide al moto *rettilineo.* Guide al moto *rotatorio.* Sistemi di *lubrificazione.* *Trasmissioni meccaniche* (alberi, giunti, innesti, freni, trasmissioni mediante cinghie e pulegge, trasmissioni mediante catene a rulli e cinghie dentate, ruote di frizione, ruote dentate, coppia vite-madrevite, camme, biellamanovella). *Organi di tenuta.* Tenute statiche e dinamiche. Organi di convogliamento dei fluidi. *Profili e superfici aerodinamiche.* Eliche, palette, giranti. Carene. *Modelli geometrici* per sistemi C.A.D. Elementi di calcolo vettoriale e matriciale; trasformazioni geometriche.

*Curve* - Rappresentazione, implicita, esplicita e parametrica - Curve parametriche di tipo polinomiale - polinomiali cubiche (p.c.) - forme e coefficienti algebrici e geometrici - notazione matriciale - Spazio parametrico - Riparametrizzazione di una curva - suddivisione di una p.c. mediante riparametrizzazione - Costruzioni grafiche (dirette e inverse) - Costruzione classica di una conica e sua approssimazione con un arco di p.c. - Curve composte e continuità - Splines cubiche - Curve parametriche di Bernstein Bézier - B-Splines e loro funzioni base.

*Superfici* - forme implicita, esplicita e parametrica - Porzione (patch), di superficie parametrica - Spazio parametrico e reticolo delle isoparametriche - porzioni di superficie bicubica forma algebrica, rappresentazione geometrica, e loro significato; rappresentazioni matriciali delle varie forme - F-Patch - Vettore normale e sue componenti - superfici cilindriche e rigate - porzione di superficie bicubica di Bézier - superfici composte e condizioni per la continuità - Curve su superfici parametriche - famiglie e reticoli ortogonali e coniugati - Porzioni di superfici con contorni irregolari - cenni ai problemi di intersezione - proprietà analitiche e intrinseche.

*Solidi* - Schemi per la rappresentazione dei solidi: mediante geometria solida costruttiva (CSG), mediante le superfici di contorno (B-Rep), schemi enumerazione spaziale - Primitive solida parametriche e - Gestione delle informazioni topologiche geometriche - Tecniche di costruzione e di modifica di modelli solidi. Sistemi per la modellazione dei solidi loro vantaggi a aree applicative.

*Visualizzazione* - Rappresentazione di strutture e visualizzazione di campi nella progettazione. Tecniche di simulazione, ambienti virtuali e relative tematiche di rappresentazione. Cenni alla elaborazione delle immagini.

(Un programma più dettagliato ed il regolamento dell'insegnamento e dell'esame vengono forniti a lezione).

*Testi consigliati:*

UNI MI, *Norme per il Disegno tecnico*, vol. 1, 2, pubblicato a cura dell'Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Piazza Armando Diaz 2, 20123 Milano (tel. 02-876914).

MANFE, POZZA, SCARATO, *Disegno Meccanico*, vol. 1, 2, 3, Ed. Principato, Milano.  
 M. MORTENSON, *Modelli geometrici in computer graphics*, McGraw Hill Italia Srl.  
 CONTI, *Disegno tecnologico*, vol. 1, 2, Ed. Pitagora, Bologna.

*Esame*: scritto e orale.

## **DISEGNO TECNICO L**

**BO, cds: R**

Docente: **Alfredo Liverani ric.**

### **Finalità del corso**

Il corso ha lo scopo di fornire le basi necessarie per l'interpretazione e l'esecuzione del disegno tecnico. Dopo una prima parte dedicata al disegno geometrico, vengono esaminate le principali norme da impiegare per la corretta rappresentazione di particolari e disegni d'assieme (complessivi). Viene dato particolare rilievo alla funzione svolta da ciascun particolare nel complessivo ed all'influenza del sistema produttivo per una corretta scelta delle forme ed un'accurata indicazione delle informazioni aggiuntive da includere (dimensioni, errori dimensionali e geometrici ritenuti accettabili, ecc.). Sono previste delle esercitazioni pratiche in cui vengono spiegate ed assegnate alcune tavole relative a componenti meccanici o a schemi di impianti che lo studente esegue durante il corso o, comunque, presenta al Docente all'atto della prova d'esame.

### **Programma**

Strumenti convenzionali per il disegno. Linee e scritturazioni unificate. Scelta formati e scale. Costruzioni geometriche fondamentali.

Il metodo delle proiezioni ortogonali. Vera forma di superfici piane. Intersezioni e sezioni piane. Compenetrazione di solidi.

Proiezioni assonometriche oblique ed ortogonali.

Norme e convenzioni nel disegno tecnico. Viste e sezioni. Criteri generali di quotatura. Numeri di Renard. Disegni di insieme (complessivi) e disegni di particolare. Quotatura funzionale. Influenza dei metodi di produzione sul disegno e la quotatura dei pezzi. Quotatura di fabbricazione e controllo. Catene di quote tollerate.

Tolleranze dimensionali. Cenni al Trasferimento di quote (dalla quotatura funzionale a quella di fabbricazione). Definizione ed indicazione della rugosità delle superfici. Tolleranze geometriche. Principio del massimo materiale.

Materiali. Prove di laboratorio: cenni alla prova di trazione. Designazione e classificazione degli acciai, delle ghise, delle leghe di rame, alluminio, magnesio. Criteri per la scelta dei materiali.

Collegamenti. Filettature. Collegamenti albero-mozzo (linguette, chiavette, profili scanalati, anelli elastici, ecc.). Cenni a chiodature, rivettature, saldature, collegamenti mediante incollaggio.

Articolazioni. Guide al moto rettilineo. Guide al moto rotatorio (cuscinetti radenti e volventi). Sistemi di lubrificazione. Organi di tenuta (statica e dinamica).

Trasmissioni meccaniche. Alberi, giunti, innesti, ruote di frizione, ruote dentate.

*Esame* L'esame consta di una prova scritta e di una orale.

La prova scritta si articola in due fasi:

- una prova scritta con domande di teoria
- una prova grafica (analoga ad una delle tavole assegnate durante le esercitazioni).

La prova orale è basata sul programma svolto a lezione durante il corso e sulla discussione degli elaborati grafici.

**Bibliografia obbligatoria**

- UNI M1, *Norme per il disegno tecnico*, vol. 1,2, pubblicato a cura dell'Ente Nazionale Italiano di Unificazione. piazza Armando Diaz 2, 20123 Milano.
- Manfè, Pozza, Scarato, *Disegno meccanico*, vol. 1, 2, 3, ed. Principato, Milano.
- CONTI, *Disegno tecnologico*, vol. 1, 2, ed. Pitagora, Bologna.
- CHIRONE, TORNINCASA, *Disegno Tecnico Industriale*, ed. Il Capitello, Torino.
- SOBRERO, *Corso di Disegno*, solo vol. 1, ed. Pitagora, Bologna.
- FILIPPI, *Disegno di Macchine*, vol. 1, 2, ed. Hoepli, Milano.
- STRANEO, CONSORTI, *Disegno di Costruzioni Meccaniche*, vol. 1, 2, ed. Principato, Milano.

**ECONOMIA DELLA SOCIETÀ DELL'INFORMAZIONE LS****CE, cds: S**Docente: **Attilio Stajano prof. inc****PARTE PRIMA****Il contesto istituzionale dell'Unione europea**

- 1 Le origini dell'Unione europea
- 2 Principi e politiche dell'Unione europea
- 3 Istituzioni dell'Unione europea
- 4 L'Unione europea dopo Maastricht
- 5 Il bilancio dell'Unione europea
- 6 Mercato interno e concorrenza
- 7 Unione economica e monetaria

**PARTE SECONDA****Competitività dell'Unione europea**

- 8 Panoramica degli Stati membri
- 9 Competitività dell'economia europea
- 10 Competitività e qualità

**PARTE TERZA****Politica della ricerca e politica tecnologica nell'Unione europea**

- 11 Ricerca comunitaria
- 12 I programmi quadro
- 13 Competitività, innovazione e ricerca
- 14 Società dell'informazione, e-Europe ed e-commerce
- 15 e-Strategy Una strategia per l'impresa nella società dell'informazione
- 16 Conclusioni

**Testi e materiale didattico di supporto**

Il seguente materiale è distribuito a stampa e disponibile anche on-line:

1. Dispense del corso e allegati
2. PASCAL FONTAINE, "10 lezioni sull'Europa" *Un opuscolo della Commissione europea*, 1998.
3. ATTILIO STAJANO, "Technology Policy in the European Union, and European Integration" *A paper in the proceedings of the EU-US Science and Technology Policy Conference*, Atlanta, GA April 9 and 10, 1999 GeorgiaTech EU Center/USG Atlanta, GA 30332-0610, USA.

**ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE**

BO, cds: T, L, I

Docente: **Alberto Petroni** prof. ass.*Obiettivo e contenuti del corso*

Il corso vuole fornire le conoscenze necessarie per comprendere le variabili economico-organizzative che influenzano la gestione dell'impresa. Dopo aver introdotto le nozioni di base relative al posizionamento competitivo e alla strategia d'impresa e alle principali decisioni inerenti le politiche funzionali, si svilupperanno i principali strumenti economico-finanziari per l'analisi dei fenomeni aziendali e per le decisioni. Saranno successivamente affrontati gli elementi di base per l'analisi dei fenomeni organizzativi e la progettazione delle organizzazioni.

*Programma*

Il corso si articola in tre parti.

## 1.- Il sistema aziendale e l'ambiente competitivo.

Introduzione alle discipline economiche. L'impresa e il sistema economico. Settore industriale e analisi della concorrenza. Le strategie competitive di base. Le variabili economiche del sistema produttivo e della gestione dei materiali. La commercializzazione del prodotto e la definizione del marketing mix.

## 2.- Rappresentazione, analisi e valutazione dei dati economico-finanziari.

Informazione e decisioni aziendali. La rilevazione contabile degli atti di gestione. Il bilancio dell'impresa (stato patrimoniale e conto economico). Modelli di riclassificazione e di analisi dei dati di bilancio per l'interpretazione dei risultati e delle condizioni economiche, finanziarie e patrimoniali dell'impresa.

Analisi dei costi per le decisioni. Tipologie e configurazioni di costo. Analisi delle decisioni di breve termine. Introduzione al budget e al controllo di gestione.

## 3.- Analisi e valutazione degli investimenti

Aspetti economici e finanziari delle decisioni di lungo termine. Il valore economico del tempo. Attualizzazione e capitalizzazione: nozioni fondamentali di matematica finanziaria. Il costo opportunità del capitale. La determinazione dei flussi di cassa rilevanti. Il concetto di valore di un investimento. Il metodo del valore attuale netto. Metodi di valutazione degli investimenti alternativi al VAN.

## 4.- L'organizzazione aziendale

L'impresa come sistema di trasformazione. Le relazioni tra impresa e ambiente esterno. La struttura organizzativa e i modelli di riferimento. Il coordinamento organizzativo e le modalità per realizzarlo. Tecnologia e organizzazione.

*Testi consigliati*

R.N. ANTHONY, D.M. MACRÌ, L.K. PEARLMAN, *Il Bilancio. Strumento di analisi per la gestione* (2° edizione), McGraw-Hill, Milano 2000. (escluso cap. 10 e appendici A e B).

R.N. ANTHONY, D.F. HAWKINS, D.M. MACRÌ, K.A. MERCHANT, *Sistemi di controllo di gestione: analisi economiche per le decisioni aziendali*, McGraw-Hill, Milano 2001. (capp. 1, 2, 3, 4, 9, 10 dal paragrafo 10.4, 12, 13, 14).

R.L. DAFT, *Organizzazione aziendale*, Apogeo, Milano, 2001. (parti I, II, III).

M. RISPOLI, *L'impresa industriale*, Mulino, Bologna 1989 (capp. 4 e 7).

*Modalità d'esame*

L'esame prevede una prova scritta e una prova orale le cui date saranno fissate in base al calendario della Facoltà e comunicate mediante il servizio Webeggs e affissione in bacheca presso

il CIEG (Via Saragozza, 8). Lo studente deve sostenere l'orale nell'appello fissato immediatamente dopo la data in cui ha superato la prova scritta. Lo studente che non supera la prova orale deve ripetere la prova scritta. Per la prova scritta occorre iscriversi attraverso il servizio Webeggs. Gli studenti che hanno superato la prova scritta sono automaticamente iscritti alla prova orale immediatamente successiva.

## **ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE LA**

**BO, cds. A, I, L**

Docente: **Federico Munari ric.**

### **Obiettivo del corso**

Fornire le conoscenze di base per la comprensione delle caratteristiche e del funzionamento del sistema aziendale. Presentare i principali strumenti di rappresentazione e di analisi economica dei risultati aziendali. Fornire gli strumenti di base per l'analisi economica di alcune delle principali decisioni aziendali.

### **Struttura e contenuti del corso**

#### **A. Il quadro di riferimento**

- a) Imprese e organizzazioni come sistemi aperti.
- b) Un modello di riferimento per l'analisi della competitività delle imprese.
- c) Il ruolo delle informazioni per le decisioni e la gestione delle imprese.
- d) Introduzione al problema del controllo delle prestazioni e dei risultati economici delle imprese.

#### **B. Il Bilancio come strumento di analisi per la gestione aziendale**

- a) Il problema della rilevazione e misurazione degli aspetti economici della gestione aziendale: ruolo e struttura del bilancio d'esercizio.
- b) Lo stato patrimoniale: analisi della relazione fra struttura e voci dello stato patrimoniale. Gli effetti delle decisioni di gestione sullo stato patrimoniale.
- c) Le transazioni economiche, la loro rilevazione e l'impatto sullo stato patrimoniale.
- d) Introduzione alle regole di funzionamento dei sistemi contabili.
- e) Misurazione e rappresentazione dei costi e dei ricavi: il conto economico e la sua struttura.
- f) Funzioni e caratteristiche del bilancio civilistico e introduzione a strutture alternative.

#### **C. Analisi dei costi per le decisioni.**

- a) La natura della contabilità direzionale: i diversi tipi di informazioni della contabilità direzionale a supporto delle decisioni di gestione.
- b) La relazione fra costi e decisioni: tipologie e configurazioni di costo e classi di decisioni di gestione.
- c) Le relazioni tra costi e volumi di attività: costi variabili e fissi, l'analisi del punto di pareggio e il concetto di leva operativa.
- d) Costi diretti e indiretti e problemi di allocazione. Sistemi di determinazione dei costi di prodotto.

#### **D. Decisioni a breve termine tra diverse alternative.**

- a) Il concetto di differenziale: costi e ricavi differenziali
- b) Configurazioni di costo per diversi problemi decisionali
- c) I problemi tipici di scelta fra più alternative: solo costi, costi e ricavi differenziali
- d) Problemi di scelta fra alternative: le fasi dell'analisi
- e) La stima dei costi futuri e dei costi sommersi

**E. Decisioni di lungo termine: le fasi del processo di scelta degli investimenti.**

- a) Il concetto di investimento e le diverse tipologie di investimenti
- b) Capitalizzazione e attualizzazione.
- c) La determinazione del valore generato da un investimento: il metodo del valore attuale netto.
- d) Le fasi del processo di scelta degli investimenti.
- e) Gli elementi necessari a valutare economicamente un progetto di investimento: il rendimento richiesto, la vita economica del progetto, i flussi di cassa rilevanti.
- f) Problemi di determinazione dei flussi di cassa.
- g) Altri metodi di valutazione degli investimenti: il tasso interno di rendimento, il tempo di recupero, il rendimento medio contabile.
- h) La valutazione degli investimenti nella prassi aziendale.

**Testi consigliati**

- R.N. ANTHONY, D.M. MACRÌ, L.K. PEARLMAN, *Il Bilancio. Strumento di analisi per la gestione* (2° edizione), McGraw-Hill, Milano 2000. (escluso cap. 9, 10 e appendici A e B)
- R.N. ANTHONY, D.F. HAWKINS, D.M. MACRÌ, K.A. MERCHANT, *Sistemi di controllo di gestione: analisi economiche per le decisioni aziendali*, McGraw-Hill, Milano 2001. (capp. 1, 2, 3, 4, 12, 13, 14)

Eventuale altro materiale didattico sarà indicato e/o reso disponibile a cura del docente durante lo svolgimento del corso.

**Modalità d'esame**

L'esame finale prevede una prova scritta, che comprende esercizi e domande di natura teorica. Le date dell'esame saranno fissate in base al calendario della Facoltà e comunicate mediante il servizio Uniwex e affissione in bacheca presso il CIEG (Via Saragozza, 8). L'iscrizione alla prova d'esame avviene attraverso il servizio Uniwex (<https://uniwex.unibo.it/>).

**ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE LA****CE, cds: dul, dui, clb**Docente: **Rosa Grimaldi ric.****Obiettivi del corso**

Fornire le conoscenze di base per la comprensione delle caratteristiche e del funzionamento del sistema aziendale. Presentare i principali strumenti di rappresentazione e di analisi economica dei risultati aziendali. Fornire gli strumenti di base per l'analisi economica delle principali decisioni aziendali.

**Struttura e contenuti del corso****A) Il quadro di riferimento**

Imprese e organizzazioni come sistemi aperti. Un modello di riferimento per l'analisi della competitività delle imprese. Risorse e competenze aziendali: la catena del valore di Porter.

**B) Il bilancio d'esercizio**

Lo stato patrimoniale. Le transazioni. Il Processo contabile. Il Conto Economico. Gli ammortamenti e l'analisi delle rimanenze. La riclassificazione del bilancio. Gli indici di bilancio.

**C) Analisi dei costi per le decisioni**

Introduzione ai costi. Volumi-costi-profitto: l'analisi di break-even. L'utilizzo delle configurazioni di costo a supporto delle decisioni. Il budget.

**D) La valutazione degli investimenti**

Il concetto di investimento. Capitalizzazione e attualizzazione. Il metodo del valore attuale netto (VAN). Gli elementi per la valutazione dei progetti di investimento: il rendimento richiesto, la vita economica del progetto, i flussi di cassa rilevanti. Altri metodi per l'analisi degli investimenti: il metodo del tasso interno di rendimento (TIR) e del tempo di recupero

**Bibliografia**

R. ANTHONY, D.M. MACRÌ, L.K. PEARLMAN (2000), *Il Bilancio. Strumenti di analisi per la gestione (2a edizione)*, McGraw-Hill, Milano (capp. 1-6, 8, 11 e 12, appendici C e D).

R.N. ANTHONY, D.F. HAWKINS, D.M. MACRÌ, K.A. MERCHANT (2001), *Sistemi di controllo di gestione: analisi economiche per le decisioni aziendali* (capp. 1,2,3,4,12,13,14).

Una selezione di articoli e altro materiale didattico sarà indicato e/o reso disponibile a cura del docente durante lo svolgimento del corso.

**Modalità di esame**

L'esame finale prevede una prova scritta le cui date saranno fissate in base al calendario della Facoltà e comunicate attraverso affissione in bacheca. L'iscrizione all'esame avviene attraverso lista cartacea. Durante lo svolgimento del corso saranno previste, esclusivamente per i frequentanti, due prove parziali di valutazione dell'apprendimento.

**ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE LA**

Docenti: **Alessandro Grandi** prof. straord.

**Maria Rita Tagliaventi** prof. ass.

BO, cds: G\_BO (A-K)

BO, cds: G\_BO (L-Z)

**Obiettivo del corso**

Fornire le conoscenze di base per la comprensione delle caratteristiche e del funzionamento del sistema aziendale. Presentare i principali strumenti di rappresentazione e di analisi economica dei risultati aziendali. Fornire gli strumenti di base per l'analisi economica di alcune delle principali decisioni aziendali.

**Struttura e contenuti del corso****A) Il quadro di riferimento**

- a. L'economia aziendale nelle discipline economiche.
- b. Il ruolo delle informazioni per le decisioni e la gestione delle imprese.
- c. Introduzione al problema del controllo delle prestazioni e dei risultati economici delle imprese.

**B) Il Bilancio come strumento di analisi per la gestione aziendale**

- a. Il problema della rilevazione e misurazione degli aspetti economici della gestione aziendale: ruolo e struttura del bilancio d'esercizio.
- b. Lo stato patrimoniale: analisi della relazione fra struttura e voci dello stato patrimoniale.

Gli effetti delle decisioni di gestione sullo stato patrimoniale.

- c. Le transazioni economiche, la loro rilevazione e l'impatto sullo stato patrimoniale.
  - d. Introduzione alle regole di funzionamento dei sistemi contabili.
  - e. Misurazione e rappresentazione dei costi e dei ricavi: il conto economico e la sua struttura.
  - f. Funzioni e caratteristiche del bilancio civilistico e introduzione a strutture alternative.
- C) Analisi dei costi per le decisioni.**
- a. La natura della contabilità direzionale: i diversi tipi di informazioni della contabilità direzionale a supporto delle decisioni di gestione.
  - b. La relazione fra costi e decisioni: tipologie e configurazioni di costo e classi di decisioni di gestione.
  - c. Le relazioni tra costi e volumi di attività: costi variabili e fissi, l'analisi del punto di pareggio e il concetto di leva operativa.
  - d. Costi diretti e indiretti e problemi di allocazione. Sistemi di determinazione dei costi di prodotto.
  - e. L'Activity Based Costing: la determinazione dei costi in base alle attività.
- D) Decisioni a breve termine tra diverse alternative.**
- a. Il concetto di differenziale: costi e ricavi differenziali
  - b. Configurazioni di costo per diversi problemi decisionali
  - c. I problemi tipici di scelta fra più alternative: solo costi, costi e ricavi differenziali
  - d. Problemi di scelta fra alternative: le fasi dell'analisi
  - e. La stima dei costi futuri e dei costi sommersi
  - f. Analisi di sensibilità e alberi delle decisioni
- E) Decisioni di lungo termine: le fasi del processo di scelta degli investimenti.**
- a. Il concetto di investimento e le diverse tipologie di investimenti
  - b. Capitalizzazione e attualizzazione: elementi di matematica finanziaria.
  - c. La determinazione del valore generato da un investimento: il metodo del valore attuale netto.
  - d. Le fasi del processo di scelta degli investimenti.
  - e. Gli elementi necessari a valutare economicamente un progetto di investimento: il rendimento richiesto, la vita economica del progetto, i flussi di cassa rilevanti.
  - f. Problemi di determinazione dei flussi di cassa.
  - g. Altri metodi di valutazione degli investimenti: il tasso interno di rendimento, il tempo di recupero, il rendimento medio contabile.
  - h. La valutazione degli investimenti nella prassi aziendale.

### *Testi consigliati*

- R.N. ANTHONY, D.M. MACRÌ, L.K. PEARLMAN, *Il Bilancio. Strumento di analisi per la gestione* (2° edizione), McGraw-Hill, Milano 2000. (escluso cap. 9 e 10 e Appendice C).
- R.N. ANTHONY, D.F. HAWKINS, D.M. MACRÌ, K.A. MERCHANT, *Sistemi di controllo di gestione: analisi economiche per le decisioni aziendali*, McGraw-Hill, Milano 2001. (capp. 1, 2, 3, 4, 12, 13, 14).

Una selezione di articoli e altro materiale didattico sarà indicato e/o reso disponibile a cura del docente durante lo svolgimento del corso.

### *Modalità d'esame*

L'esame finale prevede una prova scritta le cui date saranno fissate in base al calendario della Facoltà e comunicate mediante il servizio Uniwex (<https://uniwex.unibo.it/>) e l'affissione in bacheca presso il CIEG (Via Saragozza, 8). L'iscrizione alla prova d'esame avviene esclusivamente



attraverso il servizio Uniwex.

Il voto finale del corso integrato di Economia e Organizzazione Aziendale L-A + Economia e Organizzazione Aziendale L-B è pari alla media fra i voti riportati nella prova scritta di Economia e Organizzazione Aziendale L-A e nella prova scritta di Economia e Organizzazione Aziendale L-B. Le due prove (di Economia e Organizzazione Aziendale L-A e di Economia e Organizzazione Aziendale L-B) possono essere sostenute indipendentemente in appelli diversi purché all'interno di due sessioni consecutive, con l'avvertenza che, se la seconda prova non sarà superata entro la sessione successiva a quella nella quale la prima prova è stata superata, il voto riportato nella prima prova sarà annullato.

## **ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE LB**

Docenti: **Alessandro Grandi** prof. Straord.  
**Maria Rita Tagliaventi** prof. Ass.

**BO, cds: G\_BO (A-K)**  
**BO, cds: G\_BO (L-Z)**

### **Obiettivo del corso**

Fornire le conoscenze di base per la comprensione delle organizzazioni e del comportamento organizzativo, dei criteri di progettazione organizzativa, dei principali tipi di strutture e della gestione dei processi organizzativi.

### **Struttura e contenuti del corso**

#### **Parte I – Organizzazione e management**

##### **F) Organizzazione e teoria organizzativa**

- Che cos'è un'organizzazione?
- Le organizzazioni come sistemi
- Le dimensioni della progettazione organizzativa
- L'evoluzione e il ruolo della teoria e della progettazione organizzativa

#### **Parte II – Obiettivi strategici e progettazione organizzativa**

##### **G) Strategia e progettazione organizzativa**

- La direzione strategica del top management
- Gli obiettivi
- Strategie organizzative e progettazione organizzativa

##### **H) Gli elementi della struttura organizzativa**

- Struttura organizzativa
- Collegamenti verticali e orizzontali
- Criteri per il raggruppamento per unità organizzative
- Strutture funzionali, divisionali, per area geografica, a matrice, orizzontale, ibrida

#### **Parte III – I sistemi aperti**

##### **I) L'ambiente esterno**

- Ambiente di riferimento, ambiente generale e contesto internazionale
- L'incertezza ambientale: semplicità/complessità e stabilità/instabilità
- Dipendenza e controllo delle risorse ambientali

##### **J) Le relazioni interorganizzative**

- I network di imprese

- b. Ecologia delle popolazioni
- c. Istituzionalismo

**K) Tecnologie per la produzione e per i servizi**

- a. Tecnologia manifatturiera a livello organizzativo
- b. Tecnologia per i servizi a livello organizzativo
- c. Tecnologia a livello di unità
- d. Interdipendenza del flusso di lavoro tra le unità
- e. Impatto della tecnologia sulla progettazione della mansione

**Parte IV – Gestione dei processi organizzativi**

**L) Dimensioni organizzative, ciclo di vita e controllo**

- a. I fattori di crescita
- b. Gli stadi dello sviluppo del ciclo di vita organizzativo
- c. Caratteristiche organizzative e ciclo di vita
- d. Dimensione e controllo strutturale

**M) Cultura organizzativa**

- a. Cultura organizzativa
- b. Cultura organizzativa e progettazione organizzativa
- c. Valori etici nelle organizzazioni
- d. Fonti di valori etici nelle organizzazioni
- e. Leadership e formazione di cultura ed etica

**N) Processi decisionali**

- a. Decisione individuale
- b. I processi decisionali organizzativi
- c. La learning organization
- d. Un modello contingente per il processo decisionale

**O) Conflitto, potere e politica**

- a. Il conflitto all'interno delle organizzazioni
- b. Potere individuale e potere organizzativo
- c. Potere e autorità
- d. Fonti verticali di potere
- e. Fonti orizzontali di potere
- f. I processi politici nelle organizzazioni
- g. L'uso del potere, della politica e della collaborazione

*Testi consigliati*

R.L. DAFT, *Organizzazione aziendale*, Apogeo, Milano 2001 (esclusi capp. 7, 10 e 13).

Una selezione di articoli e altro materiale didattico sarà indicato e/o reso disponibile a cura del docente durante lo svolgimento del corso.

**Modalità d'esame**

L'esame finale prevede unicamente una prova scritta, le cui date saranno fissate in base al calendario della Facoltà e comunicate mediante il servizio UNIWEX (<https://uniwex.unibo.it/uniwex/index.do>) e affissione in bacheca presso il CIEG (Via Saragozza, 8). L'iscrizione alla prova d'esame avviene esclusivamente attraverso il servizio UNIWEX.

Il voto finale del corso integrato di Economia e Organizzazione Aziendale L-A + Economia e Organizzazione Aziendale L-B è pari alla media fra i voti riportati nella prova scritta di Economia e Organizzazione Aziendale L-A e nella prova scritta di Economia e Organizzazione Aziendale L-B.

dale L-B. Le due prove (di Economia e Organizzazione Aziendale L-A e di Economia e Organizzazione Aziendale L-B) possono essere sostenute indipendentemente in appelli diversi purché all'interno di due sessioni consecutive, con l'avvertenza che, se la seconda prova non sarà superata entro la sessione successiva a quella nella quale la prima prova è stata superata, il voto riportato nella prima prova sarà annullato.

## **ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE L**

**BO, cds: M,N**

Docente: **Raffaele Oriani** prof. inc.

### **Obiettivo del corso**

Fornire le conoscenze di base per la comprensione delle caratteristiche e del funzionamento del sistema aziendale. Presentare i principali strumenti di rappresentazione e di analisi economica dei risultati aziendali. Fornire gli strumenti di base per l'analisi economica di alcune delle principali decisioni aziendali.

### **Struttura e contenuti del corso**

#### **A) Il sistema aziendale e l'ambiente competitivo**

- a. Imprese e organizzazioni come sistemi aperti.
- b. Un modello di riferimento per l'analisi della competitività delle imprese.
- c. Il ruolo delle informazioni per le decisioni e la gestione delle imprese.
- d. Introduzione al problema del controllo delle prestazioni e dei risultati economici delle imprese.

#### **B) Il Bilancio come strumento di analisi per la gestione aziendale**

- a. I concetti fondamentali e lo Stato Patrimoniale
- b. I sistemi contabili e le modalità di contabilizzazione
- c. I ricavi e le attività monetarie
- d. Il conto economico e la misurazione dei costi di competenza
- e. Le attività a lungo termine e l'ammortamento
- f. Le passività e il capitale netto
- g. L'analisi finanziaria e i principali indici di bilancio
- h. Il bilancio civilistico

#### **C) Analisi dei costi per le decisioni.**

- a. La natura della contabilità direzionale: i diversi tipi di informazioni della contabilità direzionale a supporto delle decisioni di gestione.
- b. La relazione fra costi e decisioni: tipologie e configurazioni di costo e classi di decisioni di gestione.
- c. Le relazioni tra costi e volumi di attività: costi variabili e fissi, l'analisi del punto di pareggio e il concetto di leva operativa.
- d. Costi diretti e indiretti e problemi di allocazione. Sistemi di determinazione dei costi di prodotto.
- e. L'Activity Based Costing: la determinazione dei costi in base alle attività.

#### **D) Decisioni a breve termine tra diverse alternative.**

- a. Il concetto di differenziale: costi e ricavi differenziali
- b. Configurazioni di costo per diversi problemi decisionali
- c. I problemi tipici di scelta fra più alternative: solo costi, costi e ricavi differenziali
- d. Problemi di scelta fra alternative: le fasi dell'analisi

- e. La stima dei costi futuri e dei costi sommersi
  - f. Analisi di sensibilità e alberi delle decisioni
- E) Decisioni di lungo termine: le fasi del processo di scelta degli investimenti.**
- a. Il concetto di investimento e le diverse tipologie di investimenti
  - b. Capitalizzazione e attualizzazione: elementi di matematica finanziaria.
  - c. La determinazione del valore generato da un investimento: il metodo del valore attuale netto.
  - d. Le fasi del processo di scelta degli investimenti.
  - e. Gli elementi necessari a valutare economicamente un progetto di investimento: il rendimento richiesto, la vita economica del progetto, i flussi di cassa rilevanti.
  - f. Problemi di determinazione dei flussi di cassa.
  - g. Altri metodi di valutazione degli investimenti: il tasso interno di rendimento, il tempo di recupero, il rendimento medio contabile.
  - h. La valutazione degli investimenti nella prassi aziendale.
  - i. Principali limiti dei metodi di valutazione

### *Testi consigliati*

R.N. ANTHONY, D.M. MACRÌ, L.K. PEARLMAN, *Il Bilancio. Strumento di analisi per la gestione* (2° edizione), McGraw-Hill, Milano 2000. (escluso cap. 10).

R.N. ANTHONY, D.F. HAWKINS, D.M. MACRÌ, K.A. MERCHANT, *Sistemi di controllo di gestione: analisi economiche per le decisioni aziendali*, McGraw-Hill, Milano 2001. (capp. 1, 2, 3, 4, 12, 13, 14).

Articoli ed altro materiale didattico saranno indicati e/o resi disponibili a cura del docente durante il corso.

## **ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE L**

**FO, cds: dum, cla, clm**

Docente: **Piero Bonicelli della Vite** prof. inc.

L'impresa come sistema di trasformazione Input-Output. Obiettivi dell'impresa. Efficacia ed efficienza.

Contabilità generale e bilancia di esercizio. Significato, funzione e metodologia della contabilità generale. Il bilancio: forma e contenuto. Il bilancio d'esercizio secondo la normativa vigente: presentazione e analisi delle singole voci. Schemi di riclassificazione del bilancio: conto economico (costo del venduto, valore della produzione, al margine di contribuzione) e stato patrimoniale secondo i criteri di liquidità ed esigibilità. Le valutazioni di bilancio. Disciplina della valutazione di bilancio: La legge civile e la legge fiscale.

Le analisi di bilancio. Generalità sulle analisi di bilancia. Gli indici di bilancio: redditività, posizione e liquidità, solidità patrimoniale.

Contabilità analitica e analisi dei costi. Contenuti e scopi della contabilità analitica. Criteri di classificazione dei costi. Le "figure" di costo. Metodologia di calcolo dei costi. La contabilità per centri di costo. La contabilità di costo basata sulle attività: Activity Based Costing. Impiego della contabilità analitica nelle valutazioni di convenienza economica.

L'analisi del punto di pareggio e il margine di contribuzione. La leva operativa.

Il budget e il controllo di gestione. Il budget: caratteristiche e documenti amministrativi. Formazione del budget aziendale: il budget dell'area commerciale, il budget di produzione. Il budget aree servizi e staff: Zero Base Budget. Il consolidamento dei budget di settore: budget economi-

co, finanziario, patrimoniale. L'analisi degli scostamenti: contabilità a costi standard, budget flessibili, analisi degli scostamenti.

**Analisi e valutazione degli investimenti.** Le valutazioni finanziarie. Decisioni di investimento e decisioni finanziarie. Valore attuale e costo opportunità del capitale. La relazione tra rischio e rendimento atteso di investimento. Mercato dei capitali e decisioni di consumo, i principali criteri di valutazione degli investimenti: valore attuale netto (VAN), tasso interna di rendimento (TIR), tempo di recupero, rendimento medio contabile. Indice di redditività e rapporto costi/benefici. Decisioni di investimento con il metodo del valore attuale netto. Il caso di interazione tra progetti. La gestione del capitale circolante.

Analisi di sensibilità. Simulazioni con il metodo Montecarlo. Gli alberi di decisione.

#### Testi di riferimento

R.N. ANTHONY, D.M. MACRÌ, L.K. PEARLMAN, *Il bilancio*, McGraw-Hill, Milano, 2000.

R.N. ANTHONY, R.D. HAWKINS, D.M. MACRÌ, J.A. MERCHANT, *Sistemi di controllo di gestione: analisi economiche per le decisioni aziendali*, McGraw-Hill, Milano, 2001.

Sostituiscono:

L. BRUSA, *L'amministrazione e il controllo*, Etaslibri, Milano, 1999.

BREALEY, MYERS, SANDRI, *Capital Budgeting*, Mc. Graw Hill, Milano, 1999.

Esercizi:

GIOVANNI AZZONE, *Economia e organizzazione aziendale*, Città Studi, Milano, Terza edizione 1992.

C.A. D'AMBROSIO, S.D. HODGES, *Esercizi di finanza Aziendale*, McGraw-Hill, Milano, 1999.

#### ESAMI

Vengono effettuate due prove, una scritta ed una orale, per ogni sessione di esami. Gli studenti che intendono presentarsi alla prova scritta debbono iscriversi nella lista predisposta entro il 3° giorno feriale precedente. Alla prova scritta superata positivamente, segue prova orale.

Gli studenti possono sostenere più prove scritte all'interno di una stessa sessione o in sessioni successive, ma viene riconosciuto soltanto l'esito dell'ultima prova sostenuta (e non l'esito migliore).

#### ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE L

BO, cds: Q, R

Docente: **Mariolina Longo** prof. ass.

#### Obiettivo e contenuti del corso

Il corso vuole fornire le conoscenze necessarie per comprendere le variabili economico-organizzative che influenzano la gestione dell'impresa. Dopo aver introdotto le nozioni di base relative al posizionamento competitivo e alla strategia d'impresa e alle principali decisioni inerenti le politiche funzionali, si svilupperanno i principali strumenti economico-finanziari per l'analisi dei fenomeni aziendali e per le decisioni. Saranno successivamente affrontati gli elementi di base per l'analisi dei fenomeni organizzativi e la progettazione delle organizzazioni.

#### Programma

Il corso si articola in tre parti.

### 1. – Il sistema aziendale e l'ambiente competitivo.

Introduzione alle discipline economiche. L'impresa e il sistema economico. Settore industriale e analisi della concorrenza. Le strategie competitive di base. Le variabili economiche del sistema produttivo e della gestione dei materiali. La commercializzazione del prodotto e la definizione del marketing mix.

### 2. – Rappresentazione, analisi e valutazione dei dati economico-finanziari.

Informazione e decisioni aziendali. La rilevazione contabile degli atti di gestione. Il bilancio dell'impresa (stato patrimoniale e conto economico). Modelli di riclassificazione e di analisi dei dati di bilancio per l'interpretazione dei risultati e delle condizioni economiche, finanziarie e patrimoniali dell'impresa.

Analisi dei costi per le decisioni. Tipologie e configurazioni di costo. Analisi delle decisioni di breve termine. Introduzione al budget e al controllo di gestione.

### 3. – Analisi e valutazione degli investimenti

Aspetti economici e finanziari delle decisioni di lungo termine. Il valore economico del tempo. Attualizzazione e capitalizzazione: nozioni fondamentali di matematica finanziaria. Il costo opportunità del capitale. La determinazione dei flussi di cassa rilevanti. Il concetto di valore di un investimento. Il metodo del valore attuale netto. Metodi di valutazione degli investimenti alternativi al VAN.

### 4. – L'organizzazione aziendale

L'impresa come sistema di trasformazione. Le relazioni tra impresa e ambiente esterno. La struttura organizzativa e i modelli di riferimento. Il coordinamento organizzativo e le modalità per realizzarlo. Tecnologia e organizzazione.

### Testi consigliati

R.N. ANTHONY, D.M. MACRÌ, L.K. PEARLMAN, *Il Bilancio. Strumento di analisi per la gestione* (2° edizione), McGraw-Hill, Milano 2000. (escluso cap. 10 e appendici A e B).

R.N. ANTHONY, D.F. HAWKINS, D.M. MACRÌ, K.A. MERCHANT, *Sistemi di controllo di gestione: analisi economiche per le decisioni aziendali*, McGraw-Hill, Milano 2001. (capp. 1, 2, 3, 4, 9, 10 dal paragrafo 10.4, 12, 13, 14).

R.L. DAFT, *Organizzazione aziendale*, Apogeo, Milano, 2001. (parti I, II, III).

M. RISPOLI, *L'impresa industriale*, Mulino, Bologna 1989 (capp. 4 e 7).

### Modalità d'esame

L'esame prevede una prova scritta e una prova orale le cui date saranno fissate in base al calendario della Facoltà e comunicate mediante il servizio Webeggs e affissione in bacheca presso il CIEG (Via Saragozza, 8). Lo studente deve sostenere l'orale nell'appello fissato immediatamente dopo la data in cui ha superato la prova scritta. Lo studente che non supera la prova orale deve ripetere la prova scritta. Per la prova scritta occorre iscriversi attraverso il servizio Webeggs. Gli studenti che hanno superato la prova scritta sono automaticamente iscritti alla prova orale immediatamente successiva.

Docente: **Andrea Zanoni** prof. ord.*Obiettivo e contenuti del corso*

Il corso vuole fornire le conoscenze necessarie per comprendere le variabili economico-organizzative che influenzano la gestione dell'impresa. Dopo aver introdotto le nozioni di base relative al posizionamento competitivo e alla strategia d'impresa e alle principali decisioni inerenti le politiche funzionali, si svilupperanno i principali strumenti economico-finanziari per l'analisi dei fenomeni aziendali e per le decisioni. Saranno successivamente affrontati gli elementi di base per l'analisi dei fenomeni organizzativi e la progettazione delle organizzazioni.

*Programma*

Il corso si articola in tre parti.

## 1. - Il sistema aziendale e l'ambiente competitivo.

Introduzione alle discipline economiche. L'impresa e il sistema economico. Settore industriale e analisi della concorrenza. Le strategie competitive di base. Le variabili economiche del sistema produttivo e della gestione dei materiali. La commercializzazione del prodotto e la definizione del marketing mix.

## 2. - Rappresentazione, analisi e valutazione dei dati economico-finanziari.

Informazione e decisioni aziendali. La rilevazione contabile degli atti di gestione. Il bilancio dell'impresa (stato patrimoniale e conto economico). Modelli di riclassificazione e di analisi dei dati di bilancio per l'interpretazione dei risultati e delle condizioni economiche, finanziarie e patrimoniali dell'impresa.

Analisi dei costi per le decisioni. Tipologie e configurazioni di costo. Analisi delle decisioni di breve termine. Introduzione al budget e al controllo di gestione.

## 3. - Analisi e valutazione degli investimenti

Aspetti economici e finanziari delle decisioni di lungo termine. Il valore economico del tempo. Attualizzazione e capitalizzazione: nozioni fondamentali di matematica finanziaria. Il costo opportunità del capitale. La determinazione dei flussi di cassa rilevanti. Il concetto di valore di un investimento. Il metodo del valore attuale netto. Metodi di valutazione degli investimenti alternativi al VAN.

## 4.- L'organizzazione aziendale

L'impresa come sistema di trasformazione. Le relazioni tra impresa e ambiente esterno. La struttura organizzativa e i modelli di riferimento. Il coordinamento organizzativo e le modalità per realizzarlo. Tecnologia e organizzazione.

*Testi consigliati*

R.N. ANTHONY, D.M. MACRÌ, L.K. PEARLMAN, *Il Bilancio. Strumento di analisi per la gestione* (2ª edizione), McGraw-Hill, Milano 2000. (escluso cap. 10 e appendici A e B).

R.N. ANTHONY, D.F. HAWKINS, D.M. MACRÌ, K.A. MERCHANT, *Sistemi di controllo di gestione: analisi economiche per le decisioni aziendali*, McGraw-Hill, Milano 2001. (capp. 1, 2, 3, 4, 9, 10 dal paragrafo 10.4, 12, 13, 14).

R.L. DAFT, *Organizzazione aziendale*, Apogeo, Milano, 2001. (parti I, II, III).

M. RISPOLI, *L'impresa industriale*, Mulino, Bologna 1989 (capp. 4 e 7).

**Modalità d' esame**

L'esame prevede una prova scritta e una prova orale le cui date saranno fissate in base al calendario della Facoltà e comunicate mediante il servizio Uniwex e affissione in bacheca presso il CIEG (Via Saragozza, 8). Lo studente deve sostenere l'orale nell'appello fissato immediatamente dopo la data in cui ha superato la prova scritta. Lo studente che non supera la prova orale deve ripetere la prova scritta. Per la prova scritta occorre iscriversi attraverso il servizio Uniwex. Gli studenti che hanno superato la prova scritta sono automaticamente iscritti alla prova orale immediatamente successiva.

**ELABORAZIONE DI DATI E SEGNALI BIOMEDICI****BO, cds: L**Docente: **Mauro Ursino** prof. straord.

L'Insegnamento si propone di fornire i principali strumenti teorici e pratici per l'acquisizione, l'elaborazione numerica e la classificazione di segnali con particolare riferimento alle problematiche di interesse medico-biologico. La prima parte dell'Insegnamento tratta i segnali mono-dimensionali sia di tipo deterministico che stocastico: vengono fornite le conoscenze di base per il progetto dei filtri numerici, la stima di parametri significativi di segnali e la valutazione dello spettro di potenza di un processo stocastico. La seconda parte tratta il problema della classificazione dei segnali e del loro impiego diagnostico, sia attraverso metodi statistici che mediante reti neurali.

**1) Principali caratteristiche dei segnali a tempo discreto.**

La conversione analogico-digitale. La trasformata tempo-discreto di Fourier e la trasformata Z. Caratteristiche dei sistemi lineari tempo invarianti nel caso discreto: i sistemi FIR e IIR e la loro implementazione. La serie tempo discreta di Fourier e sue relazioni con la trasformata discreta di Fourier. L'algoritmo della FFT. Le caratteristiche di alcuni importanti segnali biologici mono-dimensionali: ECG, EEG, elettromiogramma, grandezze emodinamiche (pressione, flusso, velocità ematica).

**2) Il progetto dei filtri numerici**

Definizione delle specifiche del filtro. Caratteristiche dei filtri HR: i filtri di Butterworth, Chebyshev e ellittici. Il progetto dei filtri HR con il metodo dell'invarianza all'impulso e con la trasformazione bilineare. Caratteristiche dei filtri FIR e loro progetto con il metodo della finestratura. Cenni alle tecniche di progetto algoritmiche. Esercitazioni di filtraggio su segnali biologici: estrazione della componente a bassa frequenza da segnali di pressione intracranica; analisi dello spettro della frequenza cardiaca; analisi della misura pressoria con il metodo oscillografico.

**3) Variabili aleatorie, processi stocastici e stima di parametri.**

Richiami alle principali proprietà delle variabili aleatorie. La densità di probabilità congiunta e condizionata. La matrice di covarianza. Principali proprietà degli stimatori. La stima di parametri non aleatori: i minimi quadrati, lo stimatore di Markov, il criterio della massima verosimiglianza. La stima di parametri random: lo stimatore di Bayes. Esempi: cinetica del glucosio e/o dell'urea.

**4) I processi stocastici e gli spettri di potenza**

Richiami sui processi stocastici: stazionarietà, ergodicità. Metodi classici per la valutazione dello spettro di potenza: il periodogramma e la stima spettrale di Blackman-Tukey. Metodi parametrici per la stima degli spettri: caratteristiche generali degli stimatori AR, MA e ARMA. Al-



goritmi per la stima autoregressiva: le equazioni di Yule-Walker. Valutazione di spettri di potenza su segnali di variabilità cardiovascolare e su elettromiogramma.

#### 5) Riconoscimento statistico di configurazioni

Inquadramento del problema. La regola di Bayes a minimo errore e a minimo rischio. I classificatori Gaussiani. Le principali trasformazioni di vettori aleatori: la trasformazione ortonormale e la ricerca delle componenti principali di un vettore aleatorio. Metodi per la stima delle densità di probabilità. Valutazione delle caratteristiche di un classificatore. Esempio di classificazione statistica di pazienti nelle unità di terapia intensiva.

#### 6) Reti neurali

L'uso di reti neurali in problemi di riconoscimento di configurazioni. Principali caratteristiche delle reti neurali. Le reti di Hopfield: energia della rete e valutazione delle configurazioni di equilibrio. La rete di Hopfield come modello di memoria associativa. Cenni alle tecniche di simulated annealing. Il perceptrone e le reti multi strato. L'algoritmo di back-propagation. Esempi di applicazioni delle reti multi strato: predizione di serie temporali, classificazione. L'apprendimento competitivo e la formazione di mappe auto-organizzate.

#### Esercitazioni

L'insegnamento è integrato da esercitazioni in laboratorio con l'uso del pacchetto software MATLAB.

#### Testi suggeriti

- C. MARCHESI, *Tecniche Numeriche per l'Analisi dei Segnali Biomedici*, Pitagora, Bologna, 1992.  
 A. OPPENHEIM, R. SCHAFER, *Discrete-Time Signal Processing*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.  
 M. AKAY, *Biomedical Signal Processing*, Academic Press, San Diego, 1994.  
 E.R. CARSON, C. COBELLI, L. FINKELSTEIN, *The Mathematical Modelling of Metabolic and Endocrine Systems*, Wiley & Sons, NY, 1983.  
 S.M. KAY, *Modern Spectral Estimation*, Prentice-Hall, NJ, 1988.  
 K. FUKUNAGA, *Introduction to Statistical Pattern Recognition*, Academic Press, NY, 1972.  
 S. HAYKIN, *Neural Networks. A Comprehensive Foundation*, IEEE Press, Englewood Cliffs, NJ, 1994.

### ELABORAZIONE DI DATI E SEGNALI BIOMEDICI BS

CE, cds: clb

Docente: Mauro Ursino prof. straord.

#### Finalità del corso

Il corso si propone di fornire i principali strumenti teorici per l'acquisizione, l'elaborazione numerica e la classificazione di segnali con particolare riferimento alle problematiche di interesse medico-biologico. Vengono inoltre presentati diversi esempi pratici di uso del calcolatore per la risoluzione dei problemi suddetti.

#### Programma

*Principali caratteristiche dei segnali* – I segnali tempo-continuo e tempo-discreto. I sistemi lineari tempo invarianti. L'analisi armonica di un segnale: la trasformata continua e la trasformata discreta di Fourier. Caratteristiche dello spettro di un segnale discreto. Il teorema di Shannon del campionamento. L'aliasing. Uso dell'algoritmo FFT. Esercitazioni in ambiente MATLAB sugli

spettri di sequenze discrete e sulla ricostruzioni di segnali.

*Acquisizione di segnali biologici* – Caratteristiche di alcuni importanti segnali biologici: ECG, EMG, EEG, segnali emodinamici e respiratori (pressione, flusso, velocità, volumi). Richiami sulla catena di misura: filtro anti-aliasing, convertitore A/D, errore di quantizzazione. Esempi di acquisizione di segnali biologici.

*Elaborazione del segnale* – Definizione di filtro ideale. I filtri reali: specifiche di progetto. Caratteristiche dei sistemi IIR e FIR. Principali tipi di filtri IIR (Butterworth, Chebychev, ellittici) Sintesi dei filtri in ambiente MATLAB. Esercitazioni al calcolatore sul filtraggio di segnali biologici reali. Le principali caratteristiche dei filtri FIR: pregi e difetti. Sintesi con il metodo della finestatura. Esercitazioni sulla sintesi di filtri FIR in ambiente MATLAB.

*Elementi di statistica e calcolo della probabilità* – I principali indici statistici di posizione (mediana, valore medio), di dispersione (varianza, deviazione standard) e di associazione (covarianza e coefficiente di correlazione). Gli assiomi del calcolo della probabilità. Variabili e vettori aleatori. La densità di probabilità. Esempi di importanti distribuzioni di probabilità: uniforme, gaussiana. Il teorema del limite centrale. La probabilità condizionata e il teorema di Bayes. I classificatori statistici a minimo errore.

*Processi stocastici e densità di potenza* – Definizione di processo stocastico. Stazionarietà ed ergodicità. Energia e potenza di un segnale. La funzione di autocorrelazione. Definizione di densità di potenza. Cenni alla teoria degli stimatori. Metodi per la stima della densità di potenza: il periodogramma e il correlogramma. Esercitazioni in ambiente MATLAB per la valutazione della densità di potenza di alcuni segnali biologici.

*Modalità di svolgimento dell'esame*

Solo orale.

## **ELABORAZIONE DI DATI E SEGNALI BIOMEDICI LA**

**CE, cds: clb**

Docente: **Alessandro Sarti** ric.

### **1 Generalità**

- 1.1 Segnali analogici e digitali: principi di campionamento e discretizzazione
- 1.2 Segnali monodimensionali e multidimensionali
- 1.3 Tipologie di immagini: binarie, a toni di grigio, a colori, multispettrali

### **2. Aritmetica dell'immagine**

- 2.1 Addizione, sottrazione, moltiplicazione, divisione
- 2.2 Combinazione lineare
- 2.3 Operatori logici AND, OR, XOR, NOT, NAND, NOR, XNOR

### **3. Operazioni puntuali**

- 3.1 Sogliaatura
- 3.2 Sogliaatura adattativa
- 3.3 Stretching di contrasto
- 3.4 Operatori logaritmici ed esponenziali
- 3.5 L'istogramma e la sua equalizzazione

### **4. Operazioni geometriche**

- 4.1 Operatori di scala
- 4.2 Traslazione e rotazione
- 4.3 Trasformazioni affini

### **5. Analisi dell'immagine**

- 5.1 Intensità dell'istogramma
- 5.2 Classificazione
- 5.3 Raggruppamento con componenti connesse
- 6. Analisi morfologica
  - 6.1 Elementi strutturanti della morfologia matematica
  - 6.2 Dilatazione
  - 6.3 Erosione
  - 6.4 Apertura
  - 6.5 Chiusura
  - 6.6 Skeletonizzazione
- 7. Filtraggio nel dominio dell'immagine
  - 7.1 Integrali di convoluzione
  - 7.2 Filtro a media
  - 7.3 Filtro mediano
  - 7.4 Filtraggio gaussiano
  - 7.5 Filtraggio conservativo
  - 7.6 Laplaciano di Gaussiana
- 8. Filtraggio nel dominio delle frequenze spaziali
  - 8.1 Trasformata di Fourier
- 9. Estrazione di contorni
  - 9.1 Definizione di contorno
  - 9.2 Operatore di Roberts
  - 9.3 Operatore di Sobel
  - 9.4 Operatore di Marr
  - 9.5 Operatore di Canny
- 10. Trasformate generalizzate
  - 10.1 Trasformata di Hough

## ELABORAZIONE OTTICA DEI SEGNALI

BO, cds: T,L

Docenti: **Paolo Bassi** prof. straord.

**Giovanni Tartarni** ric.

### Finalità del corso:

Il corso intende approfondire, da un punto di vista elettromagnetico, le conoscenze su componenti e dispositivi utilizzati per la trasmissione e l'elaborazione di segnali ottici.

### Programma del corso:

#### 1. Mezzi omogenei.

Mezzi isotropi ed anisotropi, richiami sul calcolo tensoriale e sulla struttura dei cristalli.

Equazioni di Maxwell e relazioni costitutive.

Soluzioni: Onde piane e loro completezza.

Fasci di onde piane e Diffrazione.

Mezzi materiali reali: equazioni di Sellmeier per materiali lineari e non lineari

Sorgenti reali: coerenza.

Olografia classica e generata da Computer.

## 2. Mezzi non omogenei.

Strutture cilindriche: definizione e teoremi generali.

Soluzioni: Modi, loro ortogonalità e completezza.

Matrice di diffusione.

Lastra piana: soluzione, classificazione dei modi e definizione di alcune grandezze normalizzate.

Fibra ottica: soluzione esatta ed approssimata (modi LP).

Guide reali: Attenuazione e dispersione.

Cenni sui fenomeni non lineari, solitoni.

## 3. Dispositivi.

Cavità Fabry-Perot: caratteristiche ed esempi di applicazione.

Reticoli: caratteristiche ed esempi di applicazione.

## 4. Teoria dei modi accoppiati e cenni ai metodi numerici per lo studio dei dispositivi.

## 5. Sorgenti.

LED e LASER (Fabry Perot, DBR e DFB): struttura, principi di funzionamento e grandezze caratteristiche principali.

## 6. Rivelatori.

PIN e APD: struttura, principi di funzionamento e grandezze caratteristiche principali.

Ricevitori per sistemi a modulazione di ampiezza e coerenti.

Cenni al problema del Rumore.

## 7. Sistemi di trasmissione.

Esempi di componenti: accoppiatori, MUX, DE-MUX e altri per sistemi a moltiplicazione di lunghezza d'onda (WDM).

Bilancio di potenza per il dimensionamento di un sistema.

Il corso prevede esercitazioni in laboratorio, sia con programmi di simulazione che con l'effettuazione di semplici misure.

**Modalità di esame:** L'esame consiste in una prova orale.

**Propedeuticità consigliate:** Campi Elettromagnetici, Comunicazioni Elettriche

**Libri di testo:**

PAOLO BASSI, GAETANO BELLANCA, GIOVANNI TARTARINI, *Propagazione ottica libera e guidata*, CLUEB, Bologna 1999.

PAOLO BASSI, GAETANO BELLANCA, GIOVANNI TARTARINI, *Componenti e circuiti ottici*, CLUEB, Bologna 1999.

**Testi di consultazione:**

M. BORN, E. WOLF, *Principles of Optics*, Pergamon Press.

J. W. GOODMAN, *Introduction to Fourier Optics*, 2nd Ed., Mac Graw-Hill.

D. MARCUSE, *Light Transmission Optics*, Van Nostrand Reinhold Company.

D. MARCUSE, *Theory of Dielectric Optical waveguides*, Academic Press.

- A. GATHAK, K. THYAGARAJAN, *An introduction to Fiber Optics*, Cambridge University Press.  
 H. H. HAUS, *Waves and Fields in Optoelectronics*, Prentice Hall.  
 J. M. SENIOR, *Optical Fiber Communications*, Prentice Hall.  
 J. GOWAR, *Optical Communication Systems*, Prentice Hall.  
 J. T. VERDEYEN, *Laser Electronics*, Prentice Hall.

## ELEMENTI DELLE MACCHINE

BO, cds: M

Docente: Pier Gabriele Molari prof. ord.

### Scopo del Corso

Fornire metodi per lo studio degli organi di macchina

### Programma

Forma, impiego e materiali degli organi di macchina.

Le forze agenti: statiche, variabili nel tempo.

Analisi delle tensioni.

Analisi delle deformazioni.

Le azioni interne. Le sollecitazioni semplici e le sollecitazioni composte in organi di macchina.

Problemi di stabilità.

Criteri e verifiche di resistenza.

### Testi

GERE J.M., *Mechanics of Materials*, 5<sup>a</sup> ed., Brooks/Cole 2001, Thomson Learning, Pacific Grove, Ca.

BEER F.P., JOHNSTON E.R., DEWOLF J.T., *Meccanica dei solidi*, 2<sup>a</sup> ed., McGraw Hill, 2002, Milano.

JUVINALL R., MARSHEK K.M., *Fondamenti della progettazione dei componenti delle macchine*, Edizioni ETS, 2001, Pisa.

BELLUZZI O., *Scienza delle Costruzioni*, voll. 4, Zanichelli Ed, 1951, Bologna.

STROZZI A., *Costruzione di Macchine*, Pitagora Ed. Bologna.

HALL A.S., HOLOWENKO A.R., LAUGHLIN H.G., *Theory and Problems of Machine Design, Costruzione di Macchine*, Schaum's Outline series, McGraw-Hill Book Co. 1961.

**Propedeuticità consigliate:** Disegno Tecnico Industriale, Meccanica delle macchine, Tecnologia meccanica

**Modalità d'esame:** Scritto e orale

## ELEMENTI DI ARCHITETTURA TECNICA

CE, cds: dud

Docente: Barbara Bartoli prof. inc.

Il Corso intende fornire una articolata interpretazione del costruito, quella che considera qualunque realizzazione, dal semplice elemento al più complesso corpo di fabbrica, nella stretta interrelazione con le componenti dell'ambiente, quest'ultimo inteso nella sua specificità antropico-naturale.

Per raggiungere tali obiettivi, si procede secondo un percorso metodologicamente articolato su due filoni principali. Il primo, di carattere strettamente legato alle implicazioni costruttive, ma indissolubilmente connesso alle risoluzioni formali e funzionali, è quello che riconosce in qualunque tipologia insediativa una diversa e specifica risposta ad una gerarchia fissa, che dal MATERIALE procede nelle STRUTTURE, da queste negli IMPIANTI SPAZIALI, ed infine si esplicita nella complessità dell'ORGANISMO INDIVIDUATO. Il secondo, più mirato a valutazioni complessive, ma proprio per questo continuamente sottintese, si articola secondo l'interpretazione del costruito in una scalarità che ricomprende, procedendo dal livello territoriale, l'ambito urbano, la componente edilizia e la individualità architettonica.

Nel contempo, nella logica di una impostazione che mira alla formazione di tecnici oggettivamente preparati ad interpretare le attuali normative ed i più recenti Sistemi Qualità e di controllo della stessa, il Corso intende fornire risposte assolutamente cogenti, tramite la formulazione di strumenti capaci di competere con quanto i nuovi aspetti della professione richiedono.

Tutto questo nell'intento di fornire strumenti didattici capaci di formare il professionista del presente, dotandolo di strumenti di controllo e di gestione della propria capacità, ma non tralasciando la fondamentale matrice culturale che realmente può determinare, nelle sfide del lavoro, la differenza vincente.

### *Bibliografia di base*

Per gli aspetti strettamente connessi ai MATERIALI, ai SISTEMI COSTRUTTIVI, agli IMPIANTI SPAZIALI ed agli ORGANISMI INDIVIDUATI:

GIANCARLO CATALDI, *Sistemi statici in architettura*, Teorema Edizioni, Firenze, 1974.

Per le implicazioni sottintese nel rapporto AMBIENTE NATURALE-COSTRUITO ANTROPICO:

BARBARA BARTOLI, *La via faentina e la tipologia ambientale*, Edizioni Moderna-Ra, Ravenna, dicembre 1999.

Per le strumentazioni normative e progettuali in materia di SICUREZZA e QUALITÀ del costruito:

M. C. TORRICELLI, S. MECCA, *Qualità e gestione del progetto nella costruzione*, A Linea editrice, Firenze, 1996.

BARBARA BARTOLI, *Quale sicurezza? Una strumentazione pratica di riferimento: l'insegnamento accademico, l'esperienza professionale, l'approfondimento specifico*, Edizioni Moderna-Ra, Ravenna, novembre 2000.

## **ELEMENTI DI CHIMICA ORGANICA E BIOCHIMICA L**

**BO, cds: R**

Docente: **Leonardo Marchetti** prof. ord.

L'oggetto, l'importanza scientifica ed industriale, e l'evoluzione della Chimica Organica: cenni storici e prospettive attuali.

Richiami sulla struttura atomica della materia, la struttura elettronica degli atomi e delle molecole, il legame chimico, l'ibridazione degli orbitali.

Le formule dei composti organici e la loro rappresentazione grafica.

La classificazione dei composti organici. Le nomenclature d'uso e la nomenclatura razionale IUPAC dei composti organici.

Gli idrocarburi alifatici (saturi ed insaturi, a catena aperta e ciclici), e gli idrocarburi aromatici: struttura, nomenclatura, proprietà fisiche, preparazione e reattività.

L'isomeria in Chimica Organica: isomeria strutturale (di catena, di posizione, di funzione) e stereoisomeria (isomeria conformazionale, isomeria geometrica ed isomeria ottica); le nomenclature E,Z e R,S.

Le reazioni organiche: richiami di stechiometria, di termodinamica chimica e di cinetica. Richiami sull'equilibrio chimico, sulle reazioni di ossidoriduzione, su pH e sul concetto di acido e di base secondo Arrhenius, Bronsted-Lowry e Lewis.

La classificazione delle reazioni organiche. Il meccanismo delle reazioni organiche: principi generali ed aspetti termodinamici e cinetici. Gli effetti induttivi, di risonanza e sterici.

I composti organici alogenati. Gli alcoli, i fenoli, i tioli. Gli eteri, gli epossidi, i solfuri e gli altri derivati organici dello zolfo. Le aldeidi ed i chetoni. Gli acidi carbossilici ed i loro derivati. Le ammine e gli altri composti organici azotati. I composti organici polifunzionali.

I composti eterociclici, aromatici e non aromatici (cenni).

I polimeri organici: definizione e classificazione. Polimerizzazioni per addizione e per condensazione.

Le biomolecole (cenni): i lipidi - i carboidrati - gli amminoacidi e le proteine - gli acidi nucleici - i terpeni.

#### Testi consigliati:

H. HART, *Chimica organica*, Ed. Zanichelli, Bologna.

J. KICE, E. MARVELL, *Principi di chimica organica*, Ed. Piccin, Padova.

J. MCMURRAY, *Fondamenti di chimica organica*, Ed. Zanichelli, Bologna.

C. DI BELLO, *Principi di chimica organica*, Ed. Decibel, Padova.

**Esame:** La prova finale d'esame è orale: per esservi ammessi è necessario superare preliminarmente le tre prove scritte effettuate durante il corso delle lezioni, oppure una prova scritta straordinaria.

## ELEMENTI DI CONTROLLI AUTOMATICI I

BO, cds: E

Docente: Maria Elisabetta Penati ric.

### Programma

#### 1 - Generalità:

- Cenni storici. Che cos'è l'automazione
- Esempi di controlli automatici. Manipolazione materiale e manipolazione simbolica

#### 2 - Modelli matematici:

- Tecniche di identificazione. Modelli matematici dei sistemi lineari e stazionari
- Equazioni (e sistemi di equazioni) differenziali; funzione di trasferimento funzione di risposta impulsiva.

#### 3 - Analisi nel dominio dei tempi:

- Stabilità, controllabilità e osservabilità
- Errori a regime
- Insensibilità ai disturbi ed alle variazioni dei parametri.
- Parametri della risposta ad un ingresso a gradino

- 4 – Sintesi nel dominio dei tempi:
  - Luogo delle radici
  - Regolatori standard.
- 5 – La funzione di risposta armonica:
  - Definizione e sue rappresentazioni: diagrammi polari, diagrammi di Bode.
- 6 – Analisi armonica:
  - Criteri di stabilità. Margini di ampiezza e di fase.
  - Luoghi a M e a N costante, picco di risonanza e larghezza di banda.
- 7 – Componenti dei sistemi di controllo:
  - Motori elettrici in c.c. a collettore
  - Sensori e trasduttori

*Esercitazioni:* sono inserite nello svolgimento della parte teorica cui si riferiscono.

#### *Testi consigliati*

- 1) G. BERTONI, M.E. PENATI, S. SIMONINI, *I componenti dell'automazione*, Esculapio, Bologna, 2001.
- 2) M.E. PENATI, G. BERTONI, *Automazione e sistemi di controllo*, Vol. I, II. Esculapio, Bologna, 2000.
- 3) M.E., *Controlli automatici. Esercizi e test commentati e risolti*. Esculapio, Bologna, 2000.

*Esame:* prova scritta e orale.

*Propedeuticità consigliate:* Elettrotecnica.

## **ELEMENTI DI DIRITTO COMMERCIALE**

**FO, cds: elm**

Docente: **Anna Masutti** prof. ass.

### **Argomenti del corso:**

#### **1. L'IMPRENDITORE E LE SOCIETÀ**

- Particolari figure di imprenditore commerciale.
- La nozione di impresa nel diritto comunitario.
- Le società commerciali ed il contratto di società.
- Le imprese multinazionali e le holding pubbliche.

#### **2. I CONTRATTI PER LA GESTIONE DELLE IMPRESE E PER LA NEGOZIAZIONE DEGLI AFFARI**

- I management contracts (i management contracts come strumenti per la concentrazione e la razionalizzazione della gestione nelle società e nei loro gruppi).
- I contratti per il finanziamento delle imprese.
- I contratti per la distribuzione dei prodotti (franchising, factoring).
- I contratti per la promozione di affari.
- I contratti di informatica.
- I contratti di utilizzazione dell'aeromobile.

#### **3. I CONTRATTI DI ASSICURAZIONE**

- Imprese di assicurazione e contratti di assicurazione.



- L'assicurazione contro i danni.
- L'assicurazione del produttore.

#### 4. LA REGOLAMENTAZIONE DEL MERCATO E DELLA CONCORRENZA

- Esperienze di statalizzazione e di privatizzazione.
- I monopoli naturali (i monopoli naturali nel settore del trasporto e delle infrastrutture del trasporto).

Il corso sarà integrato dall'analisi di casi pratici che si svolgeranno durante l'orario di lezione.

#### *Libri di testo*

Dispense del corso.

#### *Libri per approfondimento*

Si consigliano:

F.GALGANO, *Diritto commerciale, L'imprenditore*, Bologna, Zanichelli, edizione 2000/2001.

F.GALGANO, *Diritto commerciale, Le società*, Bologna, Zanichelli, edizione 2000/2001.

F.GALGANO, *Lex mercatoria*, Bologna, Il Mulino, ed. 2001.

### **ELEMENTI DI FOTOGRAMMETRIA I**

**CE, cds: dud**

Docente: **Antonio Zanutta ric.**

#### **1. Obiettivi del corso**

Il corso fornisce le conoscenze di base delle moderne tecniche della fotogrammetria con un particolare approfondimento per le applicazioni nei campi del rilievo edilizio-urbano e delle strutture civili ed industriali. Si affrontano i temi dell'impostazione teorica analitica con alcuni cenni a quella digitale, della moderna strumentazione necessaria alla costruzione del modello metrico tridimensionale dell'oggetto rilevato e degli sviluppi applicativi nei diversi settori.

#### **2. Struttura didattica**

Il corso è articolato in una serie di lezioni riguardanti l'inquadramento della disciplina ed esempi applicativi. Si prevedono, ad integrazione delle lezioni, delle esercitazioni pratiche che mettono l'allievo in grado di eseguire, autonomamente, operazioni di rilievo. Quale prerequisite si presume che l'allievo abbia già acquisito le nozioni di base fornite dal corso di Topografia.

#### **3. Argomenti delle lezioni**

Fondamenti di fotogrammetria: concetti generali, l'uso metrico della fotografia intesa come prospettiva centrale. Terminologia: stella di direzioni, modello stereoscopico, parametri e procedure principali di orientamento.

Strumentazione di presa: camere aeree, camere terrestri: caratteristiche, componenti, alcuni esempi; cenni sulle camere digitali e sugli strumenti per l'acquisizione di immagini digitali.

Strumentazione per la restituzione: comparatori, restitutori analogici ed analitici, cenni sulle stazioni fotogrammetriche digitali. Strumenti analitici semplificati. Raddrizzatori e ortofotoproiettori.

Assunzione delle informazioni: progettazione delle prese terrestri; il progetto di volo in aereo-

fotogrammetria; la determinazione dei punti d'appoggio per via topografica e fotogrammetrica.

Fondamenti analitici: sistema di riferimento immagine, modello, oggetto. Trasformazione tra sistemi 2D e 3D. Compensazione ai minimi quadrati per osservazioni indirette nella realizzazione di trasformazioni tra sistemi 2D e 3D. La trasformazione proiettiva: relazione proiettiva tra oggetti e immagini, relazione tra coordinate lastra e coordinate assolute; orientamento esterno di un fotogramma, soluzione analitica dei problemi fondamentali di orientamento interno, relativo e assoluto. Procedure di orientamento analitiche.

La restituzione numerica nella produzione cartografica, come base per i GIS, metodi semplificati di restituzione per punti nella fotogrammetria dei vicini.

Esempi di rilevamenti.

#### 4. Esercitazioni

Il corso prevede un ciclo di esercitazioni dove gli allievi potranno svolgere un'esperienza completa per l'esecuzione di un rilievo fotogrammetrico terrestre di un'opera di interesse architettonico o artistico: progetto, prese, appoggio topografico e restituzione fotogrammetrica mediante restitutore analitico.

#### 5. Modalità d'esame

L'esame si articola in un'unica prova orale che mira a verificare l'apprendimento degli argomenti trattati nel corso delle lezioni.

#### Testi di riferimento

KRAUS K., 1994. *Fotogrammetria, teoria e applicazioni*, Vol. I. Libreria Levrotto e Bella, Torino (traduzione di Sergio Dequal).

SAINT AUBIN J.P., 1999. *Il rilievo e la rappresentazione dell'architettura*. Edizione italiana a cura di Baratin L. e Selvini A., Ed. Moretti & Vitali, Bergamo.

Materiale vario fornito dal docente

#### Altri testi da consultare

FONDELLI M., 1992. *Trattato di fotogrammetria urbana e architettonica*. Editori Laterza, Bari.

FANGI G., 1995. *Note di fotogrammetria*. CLUA Edizioni Ancona.

SELVINI A., GUZZETTI F. 2000. *Fotogrammetria generale*. UTET, Torino.

BEZOARI G., MONTI C., SELVINI A., 2001. *Misura e rappresentazione*. Casa Editrice Ambrosiana, Milano.

### ELEMENTI DI GEOTECNICA L

Docente: **Guido Gottardi** prof. ass

CE, cds: dud

#### Finalità

Il corso intende fornire i concetti di base della meccanica delle terre e delle sue applicazioni nel settore edilizio.

#### Programma

**Analisi e classificazione delle terre.** Processi di formazione del terreno. Principali tipi di terre. Componenti mineralogiche e caratteristiche strutturali. Caratteristiche fisiche delle terre e pro-

prietà indice. Analisi granulometrica. Limiti di Atterberg. Sistemi di classificazione delle terre.

**L'acqua nel terreno.** Proprietà dell'acqua interstiziale. Elementi di idrostatica. Principio delle tensioni efficaci. Fenomeni di capillarità, ritiro e rigonfiamento. Profilo delle tensioni litostatiche verticali. Forme di energia di un fluido in movimento, equazione di Bernouilli. Moti di filtrazione attraverso un mezzo poroso, definizione e misura del carico piezometrico. La legge di Darcy e il coefficiente di permeabilità. Pressione di filtrazione e gradiente idraulico critico.

**Tensioni litostatiche.** Il terreno come mezzo continuo. Analisi dello stato tensionale in un punto, convenzioni di segno, rappresentazione mediante i cerchi di Mohr. Coefficiente di spinta a riposo. Storia dello stato tensionale: terreni normalconsolidati e sovraconsolidati. Pressione di preconsolidazione e cause di sovraconsolidazione. Cenni sulla distribuzione elastica delle tensioni.

**Compressibilità e consolidazione.** La prova di compressione edometrica: scopo, apparecchiatura e modalità di prova, elaborazione dati e presentazione dei risultati. Il processo di consolidazione monodimensionale. Parametri edometrici e calcolo dei cedimenti. Consolidazione secondaria.

**Resistenza al taglio delle terre.** Criterio di rottura di Mohr-Coulomb. Parametri di resistenza al taglio e loro determinazione sperimentale. Prove di taglio diretto e di compressione triassiale. Resistenza e deformabilità dei terreni incoerenti e coesivi. Resistenza al taglio residua. Verifiche di stabilità a breve e lungo termine.

**Le indagini geotecniche.** Finalità e mezzi di indagine. Sondaggi e prelievo di campioni. Prove in sito: prove penetrometriche statiche e dinamiche, prova con piezocono, prova scissometrica. Misure in sito.

**Stati di equilibrio limite e spinta delle terre.** Equilibrio limite attivo e passivo, coefficienti di spinta, diagrammi di spinta. Opere di sostegno: tipologie e verifiche di stabilità. Altezza critica di una parete verticale.

**Fondazioni.** Fondazioni dirette e profonde: tipologie e tecniche esecutive. Capacità portante di fondazioni superficiali secondo Rankine e Terzaghi. Verifiche a breve e lungo termine. Pali battuti, a cassaforma infissa e trivellati. Formule statiche per pali di fondazione, portata di base e per attrito laterale.

**Normativa geotecnica vigente.**

Sono previste visite tecniche a laboratori di geotecnica e/o a cantieri edili.

*Testo di riferimento*

COLOMBO P. e COLLESELLI F., *Elementi di Geotecnica*, Zanichelli, 1996.

## ELEMENTI DI PROGETTAZIONE EDILE

CE, cds: dud

Docente: Paolo Bettini prof. ass.

Il corso di Elementi di Progettazione Edile intende fornire, ai profili professionali attivi nei diversi ambiti della tecnologia edilizia o della ideazione, definizione e realizzazione di opere civili, le conoscenze che permettano di compiere sintesi operative tra vari aspetti disciplinari: da quelli di tipo scientifico/analitico a quelli di tipo tecnologico, uniti a quelli della progettazione architettonica e della produzione edilizia, tutti organicamente intrecciati e simultaneamente attivi nelle diverse pratiche professionali e nei molteplici aspetti delle realizzazioni, sia del settore pubblico che di quello privato.

Le lezioni e le esercitazioni evidenzieranno i principali aspetti costruttivi, normativi, funzio-

nali, distributivi e figurativi che accompagnano l'ideazione e la definizione di un intero oggetto edilizio, attraverso verifiche progettuali operate su semplici edifici, con dimensioni e programmi funzionali, compatibili con i tempi e le necessità didattiche.

## **ELEMENTI DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI I**

**CE, cds: dud**

Docente: **Giovanni Pascale** prof. ass.

### **1. ELEMENTI DI MECCANICA DEI CONTINUI**

Analisi della deformazione e della tensione. Tensioni tangenziali e scorrimenti angolari. Leggi di Hooke generalizzate. Rappresentazione tensoriale delle tensioni e delle deformazioni. Trasformazioni per rotazioni del sistema di riferimento. Direzioni principali. Stati particolari di deformazione e di tensione. Rappresentazione grafica di Mohr per gli stati tensionali piani.

### **2. LA TRAVE SOGGETTA A SOLLECITAZIONI DIVERSE**

La trave soggetta a torsione. Analogia idrodinamica. Sezione circolare, sezione rettangolare, sezioni sottili aperte e chiuse.

La trave soggetta a taglio e flessione. Trattazione approssimata di Jourawsky.

### **3. SICUREZZA STRUTTURALE**

Generalità sui criteri di crisi per stati di tensione pluriassiali. Tensione equivalente in base al criterio di Huber-Mises-Hencky.

Dimensionamento e verifica di resistenza di travi soggette a sollecitazioni semplici e composte, col metodo delle tensioni ammissibili.

Valutazione della sicurezza in termini probabilistici: concetti di base. Il metodo semiprobabilistico agli stati limite. Valori caratteristici e valori di calcolo delle azioni e della resistenza.

Elementi di analisi limite delle strutture per sollecitazioni flessionali (momenti limite, diagramma momenti-curvature, duttilità, cerniera plastica, metodi diretto e incrementale).

### **5. ANALISI DELLE STRUTTURE IPERSTATICHE**

Analisi di strutture iperstatiche soggette a carichi e variazioni termiche, con eventuali cedimenti vincolari, attraverso il metodo delle forze e il P.L.V. Determinazione delle caratteristiche della sollecitazione e della deformata elastica.

### **6. INSTABILITÀ DELL'EQUILIBRIO ELASTICO**

Impostazione del problema. L'asta di Eulero. Lunghezza libera d'inflessione. Snellezza. Iperbole di Eulero e snellezza limite. Metodo Omega.

### *Libri di testo*

PASCALE, *Lezioni di scienza delle costruzioni*, Voll. 1 e 2, Esculapio - Progetto Leonardo, Bologna.

VIOLA, *Esercitazioni di scienza delle costruzioni*, Voll. 1 e 2, Pitagora, Bologna.

PASCALE, *Scienza delle costruzioni: esercizi d'esame svolti*, Esculapio - Progetto Leonardo, Bologna.

BIGONI, DI TOMMASO, GEI, LAUDIERO, ZACCARIA, *Geometria delle masse*, Esculapio - Progetto Leonardo, Bologna.

### Altri testi di riferimento

- DI TOMMASO, *Fondamenti di scienza delle costruzioni*, Patron, Bologna.  
 CARPINTERI, *Scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna (con esercizi).  
 VIOLA, *Scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna.  
 BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, Zanichelli, Bologna.  
 CAPURSO, *Lezioni di scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna.  
 BEER, JOHNSTON, *Scienza delle costruzioni*, Mc Graw Hill, Milano.

### Modalità di svolgimento degli esami

L'esame consiste in una prova orale, preceduta dallo svolgimento di uno o più esercizi scritti.

## ELEMENTI DI TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA L

CE, cds: dud

Docente: Maurizio Biolcati Rinaldi ric.

Il Corso intende fornire una articolata interpretazione del costruito, quella che considera qualunque realizzazione, dal semplice elemento al più complesso corpo di fabbrica, nella stretta interrelazione con le componenti dell'ambiente, quest'ultimo inteso nella sua specificità antropico-naturale.

Per raggiungere tali obiettivi, si procede secondo un percorso metodologicamente articolato su due filoni principali. Il primo, di carattere strettamente legato alle implicazioni costruttive, ma indissolubilmente connesso alle risoluzioni formali e funzionali, è quello che riconosce in qualunque tipologia insediativa una diversa e specifica risposta ad una gerarchia fissa, che dal MATERIALE procede nelle STRUTTURE, da queste negli IMPIANTI SPAZIALI, ed infine si esplicita nella complessità dell'ORGANISMO INDIVIDUATO. Il secondo, più mirato a valutazioni complessive, ma proprio per questo continuamente sottintese, si articola secondo l'interpretazione del costruito in una scalarità che ricomprende, procedendo dal livello territoriale, l'ambito urbano, la componente edilizia e la individualità architettonica.

Nel contempo, nella logica di una impostazione che mira alla formazione di tecnici oggettivamente preparati ad interpretare le attuali normative ed i più recenti Sistemi Qualità e di controllo della stessa, il Corso intende fornire risposte assolutamente cogenti, tramite la formulazione di strumenti capaci di competere con quanto i nuovi aspetti della professione richiedono.

Tutto questo nell'intento di fornire strumenti didattici capaci di formare il professionista del presente, dotandolo di strumenti di controllo e di gestione della propria capacità, ma non tralasciando la fondamentale matrice culturale che realmente può determinare, nelle sfide del lavoro, la differenza vincente.

### Bibliografia di base

Per gli aspetti strettamente connessi ai MATERIALI, ai SISTEMI COSTRUTTIVI, agli IMPIANTI SPAZIALI ed agli ORGANISMI INDIVIDUATI:

GIANCARLO CATALDI, *Sistemi statici in architettura*, Teorema Edizioni, Firenze, 1974.

Per le implicazioni sottintese nel rapporto AMBIENTE NATURALE-COSTRUITO ANTROPICO:

BARBARA BARTOLI, *La via faentina e la tipologia ambientale*, Edizioni Moderna-Ra, Ravenna, dicembre 1999.

Per le strumentazioni normative e progettuali in materia di SICUREZZA e QUALITÀ del costruito:

M. C. TORRICELLI, S. MECCA, *Qualità e gestione del progetto nella costruzione*, A Linea editrice, Firenze, 1996.

BARBARA BARTOLI, *Quale sicurezza? Una strumentazione pratica di riferimento: l'insegnamento accademico, l'esperienza professionale, l'approfondimento specifico*, Edizioni Moderna-Ra, Ravenna, novembre 2000.

## **ELETTROMAGNETISMO APPLICATO LS- PROBLEMI DI INTERFERENZE ELETTROMAGNETICHE LS (C.I.)** BO, cds: E

### **MODULO DI ELETTROMAGNETISMO APPLICATO**

Docente: Ugo Reggiani prof. ord.

#### *Finalità dell'Insegnamento*

L'insegnamento ha lo scopo di fornire agli allievi una conoscenza dei modelli matematici per i sistemi elettromagnetici di interesse dell'ingegneria elettrica e dei metodi per la loro soluzione analitica e numerica. Si esaminano i bilanci energetici ed il calcolo delle forze ponderomotrici.

#### *Programma*

##### *Richiami*

Richiami di analisi vettoriale e di teoria dei campi. Teoremi di unicità per i campi.

##### *Definizioni e leggi dell'elettromagnetismo*

Sorgenti del campo elettromagnetico. Vettori del campo elettromagnetico. Relazioni di legame materiale. Leggi dell'elettromagnetismo in forma integrale: leggi fondamentali e leggi derivate. Definizione di f.e.m. e di tensione elettrica. F.e.m. indotta per mezzi in quiete e per mezzi in moto. Leggi dell'elettromagnetismo in forma locale: equazioni differenziali, condizioni di raccordo, condizioni al contorno e condizioni iniziali. Definizione di circuito elettrico e di circuito magnetico secondo la teoria dei campi. Classificazione dei problemi di campo elettromagnetico. Energia del campo elettromagnetico. Teorema di unità per le equazioni di Maxwell.

##### *Metodi per la soluzione di problemi di campo con assegnate condizioni al contorno*

Metodi analitici, metodo delle immagini e metodi numerici.

##### *Campo elettrostatico*

Equazioni e potenziale elettrostatico. Campo elettrostatico di un sistema di conduttori. Coefficienti di capacità e di potenziale. Capacità parziali. Schermo elettrostatico. Condensatori. Capacità di servizio di linee aeree in presenza della terra e di linee in cavo. Energia del campo elettrostatico.

##### *Elettrodinamica stazionaria*

##### *Campo elettrico e campo di corrente stazionari.*

Determinazione del campo di corrente generato in un conduttore da una assegnata d.d.p. sta-

zionaria fra gli elettrodi. Resistenza ohmica di un conduttore. Analogia fra campo elettrostatico e campo di corrente stazionario.

#### *Campo magnetico generato da correnti stazionarie*

Equazioni e potenziale vettore magnetico. Potenziale scalare magnetico. Metodi per la determinazione del campo magnetico generato da una assegnata distribuzione di correnti stazionarie. Energia del campo magnetico. Coefficienti di auto e di mutua induzione: definizione tramite l'energia magnetica e definizione tramite il flusso concatenato. Fattore di accoppiamento. Coefficiente di autoinduzione di un cavo coassiale; coefficienti di auto e mutua induzione di linee a conduttori paralleli.

#### *Elettrodinamica non stazionaria e quasi-stazionaria*

Equazioni d'onda non omogenee e potenziali ritardati.

Condizioni per la validità dell'approssimazione quasi-stazionaria. Passaggio dalla teoria dei campi alla teoria dei circuiti: legge di Ohm generalizzata, legge delle correnti e legge delle tensioni. Circuiti a costanti concentrate. Equazione della diffusione. Effetto pelle in regime sinusoidale permanente. Resistenza e coefficienti di auto e mutua induzione in corrente alternata e loro dipendenza dalla frequenza.

#### *Circuiti magnetici*

Proprietà dei materiali ferromagnetici. Circuiti magnetici in corrente continua: ipotesi di studio, problema diretto e problema inverso. Magneti permanenti: funzionamento e dimensionamento. Circuiti magnetici in corrente alternata: cenno sulle correnti parassite; effetto della non linearità della curva di magnetizzazione.

#### *Azioni ponderomotrici*

Calcolo delle forze e delle coppie ponderomotrici nel campo elettrostatico e nel campo magnetico mediante il metodo degli spostamenti virtuali.

L'insegnamento è integrato da esercitazioni teoriche e numeriche.

#### *Testi di consultazione:*

F. BAROZZI, F. GASPARINI, *Fondamenti di Elettrotecnica: elettromagnetismo*, UTET, Torino, 1989.

S. BASILE, *Richiami di elettromagnetismo*, Pitagora Ed., Bologna, 1981.

*Esame:* orale

### **MODULO DI PROBLEMI DI INTERFERENZE ELETTROMAGNETICHE**

Docente: Ugo Reggiani prof. ord.

#### *Finalità dell'Insegnamento*

L'insegnamento ha lo scopo di fornire agli allievi una conoscenza di elementi di propagazione elettromagnetica, delle configurazioni circuitali e proprietà dei filtri EMI, dei metodi e tecniche di schermatura dei campi elettromagnetici

## Programma

### *Elementi di propagazione elettromagnetica*

Equazioni vettoriali delle onde. Mezzi privi di perdite: equazione di d'Alembert e sua soluzione, onda progressiva ed onda regressiva, soluzione in regime sinusoidale permanente, onda elettromagnetica trasversale (onda TEM), impedenza caratteristica del mezzo. Mezzi con perdite: onda TEM, costante di attenuazione e costante di fase, impedenza caratteristica del mezzo. Comportamento elettrico di un materiale (conduttore o isolante) e sua dipendenza dalla frequenza. Mezzo conduttore: onda TEM, impedenza caratteristica di un conduttore, spessore di penetrazione. Dimensioni elettriche di un circuito. Diffusione del campo magnetico in un mezzo lineare e isotropo. Onda TEM incidente su un piano di separazione di due mezzi: coefficienti di riflessione e di trasmissione, riflettore perfetto e riflettore non perfetto. Campo elettromagnetico irradiato da un dipolo elettrico e da un dipolo magnetico elementari. Campo vicino e campo lontano. Impedenza del campo vicino. Potenza irradiata da un dipolo elementare.

### *Filtri EMI*

Configurazioni circuitali dei filtri EMI, proprietà e criteri di scelta.

### *Schermatura*

Cenni sui metodi e tecniche di schermatura dei campi elettromagnetici.

L'insegnamento è integrato da esercitazioni teoriche e numeriche.

### *Testo consigliato:*

C. R. PAUL, *Compatibilità Elettromagnetica*, Hoepli, Milano, 1995.

*Esame:* orale

## **ELETTRONICA APPLICATA I**

**BO, cds: G\_Bo, M, N**

Docente: **Massimo Rudan** prof. ord.

Processi tecnologici. Produzione del silicio per applicazioni elettroniche. Tecnologia planare. Ossidazione termica. Diffusione termica. Impianto ionico. Epitassia. Litografia. Metallizzazione. Esempi di processi bipolari e MOS. Dispositivi a semiconduttore. Richiami sulla fisica dei semiconduttori. Equazioni dei dispositivi. Modelli per i coefficienti delle equazioni: Mobilità e coefficienti di diffusione. Fenomeni di generazione e ricombinazione.

### *Bibliografia:*

P. U. CALZOLARI, S. GRAFFI, *Elementi di Elettronica*, Zanichelli, 1984.



**ELETRONICA APPLICATA II****BO, cds: T, L, I**Docenti: **Bruno Riccò** prof. ord.**Luca Benini** prof. ass.

L'Insegnamento si propone lo studio dei circuiti elettronici digitali. Rappresenta la naturale prosecuzione di Elettronica applicata I e la base per tutti gli insegnamenti dove si studiano applicazioni dei circuiti digitali stessi.

*Programma***1. Dispositivi a semiconduttore**

Brevi richiami sui principi di funzionamento del transistor bipolare. Principio di funzionamento e modelli dei transistori MOS. Cenni sulla tecnologia planare del silicio e sui processi di fabbricazione dei circuiti integrati bipolari e MOS.

**2. Famiglie logiche**

Introduzione alle famiglie logiche e definizione delle principali caratteristiche. Circuiti digitali MOS, CMOS e BICMOS: criteri di progetto e calcolo dei parametri caratteristici, confronto tra varie soluzioni circuitali. Uso dei transistori MOS come transfer-gate e funzionamento dei circuiti dinamici MOS e CMOS. Circuiti buffer MOS. Schiere logiche e dispositivi programmabili (PLA, PLD). Principali famiglie logiche bipolari (TTL, ECL, I<sup>2</sup>L): criteri di progetto; calcolo dei parametri caratteristici; confronto tra le diverse soluzioni circuitali, circuiti buffer e di interfaccia.

**3. Circuiti rigenerativi**

Multivibratori bistabili, monostabili ed astabili: realizzazioni MOS e bipolari; flipflop; trigger di Schmitt e generatori di clock.

**4. Memorie a semiconduttori**

Classificazione ed organizzazione generale delle memorie. I principali circuiti delle RAM (bipolari, SRAM, DRAM). Memorie a sola lettura (ROM, PROM, EPROM, E<sup>2</sup>PROM). Strutture e funzionamento dei sense amplifiers. Memorie ad accesso seriale.

**5. Microcalcolatori**

Struttura generale a blocchi. I principali circuiti della ALU. Cenni sul sistema di controllo e sulla microprogrammazione.

*Testi consigliati:*

HODGES, JACKSON, *Analysis and Design of Digital Integrated Circuits*, Mc Graw-Hill.

RICCO, FANTINI, BRAMBILLA, *Introduzione ai Circuiti Integrati Digitali*, Zanichelli.

OLIVO, FAVALLI, *Esercizi di Elettronica Digitale*, Esculapio, Progetto Leonardo, 1991.

BACCARANI, *Dispositivi MOS*, Pàtron.

RICCO, FANTINI, *Memorie a semiconduttore*, Pàtron.

DE CASTRO, *Teoria dei dispositivi a semiconduttore*, Pàtron.

*Esame scritto (3 ore) e orale.*

Le esercitazioni si svolgono in aula e consistono nelle risoluzioni di temi di esame e nello svolgimento di alcuni semplici progetti.

È possibile, durante e dopo l'insegnamento, esercitarsi nell'analisi automatica di circuiti, con il programma SPICE, su personal computer e sui MicroVax.

**Propedeuticità consigliate:** Per seguire con profitto l'insegnamento si ritiene indispensabile aver frequentato Elettronica applicata 1.

## ELETTRONICA APPLICATA II

Docente: Susanna Reggiani ric.

BO, cds: G\_Bo, M, N

Dispositivi a semiconduttore. Condensatore MOS, Transistore MOS. Modello lineare-parabolico del transistore MOS. Invertitore MOS a carico resistivo. Invertitore CMOS.

Circuiti logici: Introduzione ai circuiti logici: variabili binarie, funzioni binarie. Circuiti logici elementari: NOT, NOR, NAND, XOR. Teoremi dell'Algebra booleana. Multivibratori bistabili. Flipflop SR, JK, MS, D. Registri a scorrimento. Memorie sequenziali e RAM. Aritmetica binaria. Half adder, full adder. Sintesi di funzioni logiche.

Circuiti analogici: Definizione proprietà generali del bipolo elettrico. Partizione di un circuito in bipoli. Trasformata di Laplace e suo uso nella teoria dei circuiti lineari. Circuiti equivalenti di Thevenin e di Norton. Definizione dell'impedenza d'ingresso e dell'impedenza di uscita.

Funzionamento di dispositivi a semiconduttore in regime di piccoli segnali. Circuiti di polarizzazione. Calcolo del guadagno di tensione.

### Bibliografia:

P. U. CALZOLARI, S. GRAFFI, *Elementi di Elettronica*, Zanichelli, 1984.

## ELETTRONICA APPLICATA LS

Docente: Sergio Graffi prof. ord.

BO, cds: L

### Finalità del corso

Il corso si propone di fornire le conoscenze di base sull'analisi e sui criteri di progetto dei circuiti elettronici analogici **non lineari**, intendendo con ciò quei circuiti le cui funzioni si fondano in modo essenziale sulla utilizzazione delle caratteristiche non lineari dei dispositivi elettronici e il cui funzionamento, quindi, non può essere compreso senza l'impiego di modelli non lineari. A tale categoria appartengono tutti i circuiti autonomi non inutili e una notevole varietà di circuiti non autonomi. Questi, però, includono alcune importanti categorie che hanno strette relazioni con circuiti autonomi e condividono comunque con essi i metodi fondamentali di analisi. Pertanto il corso si occupa innanzitutto e prevalentemente di circuiti autonomi e successivamente di alcuni importanti circuiti non autonomi.

### Programma del Corso

Richiami sull'analisi della stabilità degli stati di riposo di un circuito. Generalità su oscillazioni e oscillatori; oscillatori (quasi) sinusoidali e oscillatori di rilassamento. L'equazione e gli oscillatori di van der Pol. Sintesi di resistori a resistenza differenziale negativa e applicazioni con amplificatori operazionali, con transistori bipolari e con transistori MOS. Oscillatori sinusoidali con struttura a due bipoli. Oscillatori sinusoidali a retroazione. Bilanciamento armonico e funzione descrittiva. Oscillazioni di rilassamento in circuiti SLCR. Multivibratori astabili. Cenni sulla

sincronizzazione di oscillazioni. Multivibratori monostabili. Multivibratori bistabili. Altri esempi di circuiti non autonomi.

### Esame

Gli esami sono orali e si svolgono su appuntamento.

Lo studente può scegliere fra due modalità:

- 1) interrogazione su argomenti attinenti al corso, con voto non superiore a 26/30;
- 2) per poter accedere ai voti più alti il candidato deve presentare e discutere una breve relazione (max 10 pagine) su un argomento precedentemente concordato. Tale relazione potrebbe riguardare, ad esempio: progetto di un semplice circuito attinente al corso, analisi di un circuito non banale attinente al corso, approfondimento e/o espansione di un argomento attinente al corso, utilizzazione innovativa di software per l'analisi di circuiti non lineari, produzione di appunti in opportuno formato su un argomento del corso, ecc...

### Testi Consigliati

Non conosco libri di testo corrispondenti al programma sopra indicato: bisogna studiare sui propri appunti presi a lezione.

Qualche ulteriore supporto didattico potrà essere indicato durante le lezioni.

## ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI LS

BO, cds: I, T, L

Docente: Giorgio Baccarani prof. ord.

L'Insegnamento tratta le moderne metodologie di progettazione dei circuiti e sistemi integrati a larga scala (VLSI) in tecnologia CMOS, con riferimento sia alle architetture circuitali che realizzano le più importanti funzioni logiche, sia alle tecniche di progettazione assistita ai vari livelli di astrazione. L'insegnamento prevede un ciclo di esercitazioni di laboratorio in un'aula appositamente attrezzata con un congruo numero di stazioni SUN; sarà inoltre reso disponibile software avanzato per la progettazione VLSI. Gli studenti avranno l'opportunità di sviluppare un progetto consistente in una macrocella di assegnate specifiche quale, ad esempio una unità logico-aritmetica, un controllore di memoria cache, uno shifter, etc. L'insieme di tali blocchi funzionali potrà successivamente portare alla fabbricazione di un microprocessore. Il collaudo dei microcircuiti progettati e realizzati potrà essere svolto come attività di laboratorio durante la preparazione della tesi di laurea.

### Programma

#### 1. Progetto di celle digitali

Brevi cenni di tecnologia planare del silicio, con particolare riferimento al processo CMOS. Logiche CMOS statiche e dinamiche: logiche a quattro fasi, a due fasi e a una fase. Logiche C<sup>2</sup>MOS, CVSL, DOMINO, NORA, TSPC. Problemi di temporizzazione e corse critiche. Latch statici e dinamici. Logiche combinatorie. Schiere logiche programmabili (PLA).

#### 2. Aritmetica computazionale

Sommatore completo in tecnologia CMOS statica e dinamica. Sommatori con riporto di vario tipo (ripple carry, carry lookahead, carry select, carry save, carry skip). Moltiplicatori seriali e paralleli, moltiplicatori senza riporto a matrice e ad albero. Divisori a matrice e divisori iterativi.

Cenni sul calcolo di funzioni irrazionali e trascendenti: radice quadrata, logaritmo, esponenziale. Rappresentazione in virgola mobile. Standard IEEE-754.

### 3. Metodologie progettuali

Metodologie progettuali *semicustom* e *custom*. Progettazione strutturata *top-down*: descrizione dei diversi livelli di astrazione. Il problema della sintesi logica. Il problema del layout. La funzione degli strumenti CAD. Descrizione dei principali algoritmi per la sintesi automatica ai diversi livelli di astrazione.

### 4. Architettura dei Microprocessori

Schema a blocchi di un elaboratore digitale su singolo chip. Struttura dell'unità di elaborazione e descrizione dei blocchi funzionali che la compongono: unità logico-aritmetica (ALU), shifter, registri, porte di ingresso/uscita e bus. Struttura dell'unità di controllo. Architettura a set ridotto di istruzioni (RISC). Descrizione di un microprocessore avanzato commercialmente disponibile.

### 5. Architettura dei (DSP)

Elaborazione dei segnali digitali. Filtri *finite impulse response* (FIR) e *infinite impulse response* (IIR). Metodi di definizione dei coefficienti. Struttura fisica e principio di funzionamento di un dispositivo CCD. Filtri a condensatori commutati. Architettura di un DSP microprogrammato (Harvard). Unità aritmetica, unità di calcolo degli indirizzi, *program counter*, registri, I/O. Conversione A-D e D-A.

#### Testi consigliati:

- N. WESTE, K. ESHRAGHIAN, *Principles of C-MOS VLSI Design*, Addison-Wesley, 1992.  
 J. HENNESSY, D. PATTERSON, *Computer Architecture. A Quantitative Approach*, Morgan Kaufmann Publishers, 1990.  
 A. ANTONIOU, *Digital Filters: Analysis and Design*, Mc Grow-Hill, 1979.

## ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI

BO, cds: T, L

Docente: Alberto Santarelli ric.

#### Finalità

L'insegnamento si propone di illustrare i principi di funzionamento dei dispositivi e dei circuiti elettronici impiegati nel campo delle Telecomunicazioni. In particolare si intendono fornire le conoscenze di base necessarie per la progettazione dei circuiti che implementano, sulla base delle moderne tecnologie, le funzioni fondamentali per la trasmissione e ricezione di segnali.

#### Programma

##### Generalità.

Richiami sugli schemi a blocchi di ricevitori e trasmettitori e sulle funzioni elementari necessarie per la realizzazione di sistemi di telecomunicazioni. Problematiche connesse al rumore ed alla distorsione non lineare. Impiego della serie di Volterra. Calcolo della distorsione (armonica e di intermodulazione) e della conversione AM/PM. Problemi di stabilità e sensibilità parametrica.

*Circuiti di base per telecomunicazioni.*

Amplificatori a basso rumore e di potenza per alta frequenza. Oscillatori stabilizzati mediante quarzi, risonatori dielettrici e dispositivi SAW. Oscillatori controllati in tensione. Circuiti rivelatori di fase ed anelli ad aggancio di fase (PLL). Impieghi dei PLL: sincronizzazione, demodulazione angolare, moltiplicazione, divisione e sintesi di frequenza. Realizzazione di elementi filtri mediante dispositivi attivi. Modulatori e demodulatori AM e PM. Convertitori di frequenza.

*Dispositivi elettronici.*

Diodi, transistori bipolari e ad effetto di campo per alte frequenze. Dispositivi basati su semiconduttori composti ed eterogiunzioni: MESFET, HEMT, HBT. Modelli lineari, di "rumore" e non lineari. Tecniche di caratterizzazione e di estrazione dei parametri dei modelli. Cenni su strumenti di misura per alta frequenza. Cenni sull'impiego di tubi elettronici per applicazioni di potenza in alta frequenza.

*Progetto di circuiti integrati.*

Cenni sulla tecnologia dei semiconduttori composti ed analisi dei vincoli di progetto associati alla tecnologia dei circuiti integrati in GaAs. Generalità sulle tecniche numeriche per l'analisi ed il progetto di circuiti per telecomunicazioni. Caratteristiche degli strumenti (Ad esempio, di progetto di circuiti integrati monolitici per alte frequenze).

*Esercitazioni e tesi.*

Le esercitazioni riguarderanno esempi pratici di progetto di circuiti integrati per telecomunicazioni con l'impiego di strumenti CAD avanzati. Tali esperienze potranno avere una naturale prosecuzione in tesi di laurea.

*Esame:* orale.

Propedeuticità.

Elettronica Applicata I e II, Comunicazioni Elettriche.

**ELETRONICA DELLO STATO SOLIDO**

**BO, cds: T, L**

Docente: **Massimo Rudan** prof. ord.

*Finalità dell'Insegnamento*

L'Insegnamento sviluppa la, teoria fisico-matematica necessaria alla descrizione del funzionamento dei dispositivi a stato solido. Vengono introdotti i concetti fondamentali della meccanica quantistica e del trasporto nei solidi, con applicazione ai più importanti dispositivi elementari. L'Insegnamento può essere considerato come base culturale a, sé stante oppure, coordinato con altri quali Microelettronica, Chimica Fisica, Elettronica, dei sistemi digitali e Architettura dei Sistemi integrati, come parte propedeutica di un gruppo di materie che sviluppano in modo completo i concetti essenziali per la formazione di un ingegnere elettronico nel settore della Microelettronica.

## Programma

### 1. Introduzione alla Meccanica Quantistica.

– Principi generali della Meccanica Quantistica. Grandezze fisiche e operatori ad esse associati, equazioni agli autovalori, completezza, degli insiemi di autofunzioni.

– Simultanea osservabilità di due grandezze fisiche. Sistemi completi di operatori che commutano, somma, di operatori indipendenti, autovalori e autofunzioni associate. Valor medio di una grandezza fisica e sua espressione quantistica. Teoremi di conservazione.

– Funzione hamiltoniana per una particella carica in un campo elettromagnetico. Equazione di Schrödinger per una particella soggetta a un potenziale parabolico, suoi autovalori e autofunzioni. Concetto di fotone.

– Indistinguibilità di particelle identiche, simmetria e antisimmetria della funzione d'onda. Statistiche di Fermi-Dirac e di Bose-Einstein.

### 2. Elementi di teoria dei solidi.

– Moto di un elettrone in un campo periodico e bande di energia. Pacchetti d'onde di Bloch. Conduttori, isolanti e semiconduttori.

– Elettroni e lacune nei semiconduttori. Teorema della massa efficace. Relazioni fra energia, momento e velocità di gruppo nei portatori in un cristallo. Tensore di massa.

– Teorema, di Liotiville ed equazione del trasporto di Boltzmann. Termini di collisione. Soluzione iterativa dell'equazione di Boltzmann nell'ipotesi del tempo di rilassamento.

– Velocità media, energia cinetica media, e temperatura dei portatori. Deduzione delle equazioni di continuità della massa, del momento e dell'energia. Il modello matematico della teoria dei dispositivi.

### 3. Elementi di teoria, dei dispositivi a semiconduttore.

– Condizioni di equilibrio e linearizzazione delle equazioni nell'intorno di una situazione di equilibrio. Termini di generazione-ricombinazione.

– Applicazione all'analisi della giunzione p-n e del condensatore MOS.

### 4. Seminari.

– L'Insegnamento è integrato da seminari su dispositivi avanzati: *quantum wire*, *quantum dot*, microscopio a effetto *tunnel*.

– Sono previste visite al Laboratorio CNR-LAMEL.

Argomenti di ricerca, nell'ambito dei quali sono disponibili tesi di laurea:

Dispositivi: modelli fisici avanzati del trasporto nei semiconduttori; metodi di soluzione delle corrispondenti equazioni; analisi, progettazione e ottimizzazione dei dispositivi. Sensori: analisi, progettazione e ottimizzazione di sensori ottici e chimici. CAD tecnologico.

Le tesi di laurea si svolgono, di regola, presso il Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica. Sono anche disponibili tesi più orientate verso la tecnologia da svolgersi, previo accordo, presso il Laboratorio CNR-LAMEL.

## Testi di riferimento

1. E. DE CASTRO, *Fondamenti di Elettronica, Fisica elettronica ed elementi di teoria dei dispositivi*, UTET, 1975.
2. E. DE CASTRO, *Teoria dei dispositivi a semiconduttore*, Pàtron, 1983.
3. G. BACCARANI, *Dispositivi MOS*, Pàtron, 1982.
4. D.A. NEAMEN, *Semiconductor Physics and Devices*, IRWIN, 1992.

5. P. KIRÉEV, *La Physique des Semiconducteurs*, MIR, 1975.
6. N.W. ASHCROFT, N.D. MERMIN, *Solid State Physics*, Saunders, 1976.
7. Testi generali di Meccanica quantistica:  
L. LANDAM e LIFCHITZ, *Mécanique quantique*, MIR, 1974.  
A. MESSIAH, *Mécanique quantique*, Dunod, 1969.
8. Su alcuni argomenti sono disponibili fotocopie di appunti e trasparenti.

## ELETTRONICA INDUSTRIALE

BO, cds: T, E, L, I

Docente: Fabio Filicori prof. ord.

L'Insegnamento intende fornire le conoscenze di base per la progettazione dei sistemi elettronici che trovano applicazione nelle macchine e negli impianti industriali. Vengono esaminate le caratteristiche funzionali degli elementi costitutivi di tali sistemi, con particolare riferimento alle unità di alimentazione, ai circuiti elettronici di potenza ed alle relative unità di controllo sia di tipo analogico che digitale.

### Programma

Alimentatori: raddrizzatori, filtri, regolatori, circuiti di limitazione della corrente. Criteri di progetto di un alimentatore stabilizzato.

Dispositivi elettronici di potenza: caratteristiche e parametri limite principali dei transistori di potenza bipolari e FET; diodi controllati (SCR, GTO); circuiti di comando per i dispositivi operanti in commutazione; circuiti snubber.

Amplificatori di potenza: generalità sui convertitori controllati operanti in commutazione; progetto elettrico e termico delle reti di commutazione. Scelta delle leggi di commutazione più opportune per realizzare convertitori controllati DC/DC, DC/AC, AC/DC, AC/AC. Unità di controllo analogiche e digitali. Esempi di applicazione nel controllo di motori elettrici C.C. e C.A. e nella regolazione di impianti industriali.

Trasduttori: principio di funzionamento, caratteristiche e modalità di impiego di trasduttori elettototici, elettromeccanici, termoelettrici.

Unità di controllo programmabili: criteri per la scelta dei componenti e la definizione della configurazione hardware, organizzazione e sviluppo del software applicativo.

### Testi consigliati:

- 1) Appunti tratti dalle lezioni.
- 2) S.B. DEWAN, A. STRAUGHEN, *Power Semiconductor Circuits*, J. Wiley, 1975.
- 3) K. KIT SUM, *Switth-mode power conversion*, Dekker, 1984.

L'esame consiste in una prova orale.

L'insegnamento prevede *esercitazioni*, nelle quali vengono sviluppati ed approfonditi gli argomenti di teoria attraverso esempi ed applicazioni di pratico interesse.

*Propedeuticità consigliate*: Elettronica applicata I, Reti logiche, Controlli automatici I.

**ELETTRONICA INDUSTRIALE LA**

CE, cds: dul

Docente: **Fabio Filicori** prof. ord.

Il corso intende fornire le conoscenze di base dei sistemi elettronici che trovano applicazione nelle macchine e negli impianti industriali. Vengono esaminate le caratteristiche funzionali degli elementi costitutivi di tali sistemi, con particolare riferimento alle unità di alimentazione, ai circuiti elettronici di potenza ed alle relative unità di controllo sia di tipo analogico che digitale.

*Programma*

Alimentatori: raddrizzatori, filtri, regolatori, circuiti di limitazione della corrente. Dispositivi elettronici di potenza: caratteristiche e parametri limite principali dei transistori di potenza bipolari e FET; diodi controllati (SCR, GTO); circuiti di comando per i dispositivi operanti in commutazione.

Amplificatori di potenza: generalità sui convertitori controllati operanti in commutazione. Scelta delle leggi di commutazione più opportune per realizzare convertitori controllati DC/DC, DC/AC, AC/DC, AC/AC. Unità di controllo analogiche e digitali. Esempi di applicazione nel controllo di motori elettrici C.C. e C.A. e nella regolazione di impianti industriali.

Trasduttori: principio di funzionamento, caratteristiche e modalità di impiego di trasduttori elettroottici, elettromeccanici, termoelettrici.

Il corso prevede *esercitazioni*, nelle quali vengono sviluppati ed approfonditi gli argomenti di teoria attraverso esempi ed applicazioni di pratico interesse.

**ELETTRONICA LA**

BO, cds: I

Docente: **Massimo Lanzoni** prof. ass.*Finalità del corso*

Fornire allo studente le conoscenze di base per l'analisi dei circuiti elettronici analogici.

*Programma del Corso*

Segnali. Metodi matematici per l'analisi dei segnali. I principali dispositivi elettronici: descrizione del comportamento elettrico e modelli compatti elementari. Analisi del punto di riposo di un circuito. Applicazione ad alcune connessioni notevoli: connessione a diodo, specchi di corrente, generatori di corrente, coppia differenziale. Piccoli segnali, linearizzazione e circuiti equivalenti per piccoli segnali dei dispositivi.

Amplificatori lineari, elaborazione lineare di (piccoli) segnali, stadi amplificatori elementari, connessione in cascata di stadi amplificatori, amplificatori differenziali.

Analisi della stabilità dei punti di riposo di un circuito.

Retroazione nei circuiti elettronici. Circuiti operazionali ed amplificatori operazionali.

Multivibratori.

Stadi di potenza.

Convertitori A/D e D/A.

*Testi Consigliati*

SEDRA-SMITH, *Microelectronic Circuits*, 4th edition Oxford University Press.

GRAY-MEYER, *Circuiti integrati analogici*, McGraw-Hill.



**ELETRONICA LB****CE, cds: dut, dul, dui, clb**Docente: **Marco Tartagni ric.****Finalità del Corso:**

L'insegnamento si propone di introdurre gli elementi di base per l'analisi dei circuiti elettronici ed è stato concepito per facilitare l'apprendimento in chiave induttiva della disciplina, basato sull'analisi di un insieme di casi reali. Il corso è inoltre integrato da esercitazioni di laboratorio che hanno lo scopo di introdurre gli strumenti di base per l'analisi assistita al calcolatore dei circuiti.

**Programma corso****Teoria****1. Reti Lineari**

Richiami sui numeri complessi e sul loro uso nella rappresentazione di grandezze sinusoidali, sui metodi trasformazionali di Fourier e di Laplace, sulla risposta di circuiti lineari a varie categorie di sollecitazioni, richiami sulla manipolazione di diagrammi di Bode. Funzioni di trasferimento del primo e secondo ordine. Fattore di qualità, pulsazione naturale. Funzioni del II ordine del tipo passa-basso. Consumo di potenza di circuiti lineari, guadagno di tensione, corrente, potenza.

**2. Circuiti non-lineari**

Diodo a semiconduttore e suoi modelli, approssimazione a soglia. Circuiti analogici non lineari con diodi: raddrizzatori a semionda e a doppia semionda, limitatori. Linearizzazione delle equazioni costitutive, introduzione al concetto di circuito ai "piccoli segnali". Effetti reattivi del diodo a semiconduttore: capacità di giunzione e diffusione. Transistore a giunzione (BJT): principi di funzionamento, teoria elementare del trasporto in base, modello di Ebers e Moll (EM) ed effetto "Early". Caratteristiche statiche. La regione di funzionamento del BJT "normale". Esempi di circuiti con transistori a giunzione operanti in regione "normale", approssimazione a soglia. Introduzione al funzionamento del BJT operante in regione di "saturazione", "inversione" ed "interdizione", esempi circuitali. Transistore PNP: convenzioni e modello EM. Transistore connesso a diodo. Specchi e generatori di corrente. Transistore di Darlington e transistore PNP composito. Circuito equivalente "ai piccoli segnali" del transistore a giunzione in regione "normale" a due e tre parametri. Esempi circuitali con applicazione del circuito equivalente "ai piccoli segnali". Connessioni elementari del BJT: EC, CC, BC, parametri caratteristici ai piccoli segnali. Esercizi sull'analisi di circuiti amplificatori complessi mediante scomposizione in blocchi elementari. Coppia differenziale. Stadio differenziale a transconduttanza.

**3. Amplificatori operazionali**

Amplificatori operazionali (OPAMP), definizione e modello di OPAMP ideale. Amplificatore invertente con OPAMP ideale: stato di riposo, guadagno; concetto di cortocircuito virtuale e cautele d'uso: esempio del circuito con tre stati di riposo. Amplificatore non invertente, separatore, amplificatore differenziale con OPAMP. Amplificatori con OPAMP e componenti reattivi: relazioni differenziali fra  $V_u$  e  $V_i$ ; caso dell'integratore. Esercizi relativi a OPAMP ed elementi non-lineari. Cenni sulla retroazione e la stabilità.

**Laboratorio****4. Simulazione dei circuiti**

Analisi dei circuiti con SPICE, modelli relativi al diodo ed al BJT.

Per il superamento dell'esame è necessario sostenere con esito positivo una prova scritta; gli studenti in corso potranno avvantaggiarsi di due prove parziali effettuate durante il calendario delle lezioni.

#### *Testi e materiale didattico di supporto*

Raccolta di esercizi svolti negli anni precedenti, a cura del docente.

A. SEDRA, K. SMITH, *Microelectronic circuits*, Oxford University Press, 1997.

J. MILLMAN, A. GRABEL, *Microelettronica*, McGraw-Hill, 1994.

P.U. CALZOLARI, S. GRAFFI, *Elementi di Elettronica*, Zanichelli, 1984.

### **ELETTROTECNICA**

**BO, cds: C**

Docente: **Fiorenzo Filippetti** prof. ass.

L'Insegnamento si propone di fornire all'allievo civile le nozioni fondamentali per poter affrontare, nella sua attività professionale, la soluzione di usuali problemi di tecnica elettrica, come, ad esempio, saper indicare le specifiche per un contratto di energia o per la commissione di una apparecchiatura elettrica, la scelta del trasformatore o del motore elettrico più opportuno, il dimensionamento di una breve linea in cavo per allacciare alla rete di distribuzione le apparecchiature elettriche del cantiere, il progetto di un semplice impianto di forza motrice o di illuminazione, ecc. L'Insegnamento, infine, intende far acquisire agli allievi le conoscenze fondamentali sulla sicurezza elettrica.

Circuiti elettrici lineari a parametri concentrati in regime stazionario. Reti elettriche in regime variabile quasi-stazionario. Cenni sui fenomeni transitori. Circuiti elettrici in regime sinusoidale. Rifasamento e risonanza elettrica. Sistema trifase simmetrico ed equilibrato, simmetrico e squilibrato, a quattro fili. Circuiti magnetici lineari in regime stazionario e sinusoidale. Trasformatori: generalità costruttive e principio di funzionamento, equazioni, circuiti equivalenti, funzionamento a vuoto e in corto circuito, perdite e rendimento, variazione di tensione. Trasformatore trifase. Macchine rotanti: generalità costruttive. Campi magnetici rotanti e realizzazioni costruttive. Distribuzione spaziale del flusso. Avvolgimento trifase a due o più poli e f.e.m. indotte da un campo a distribuzione sinusoidale. Diagramma di f.m.m. relativo ad una distribuzione trifase di corrente. Condizioni necessarie e sufficienti per la coppia al traferro.

Macchine asincrone: generalità. Funzionamento a carico, a vuoto e in corto circuito. Equazioni e circuiti equivalenti. Coppia, perdite e rendimento. Motori a gabbia. Problemi di avviamento. Regolazione della velocità. Macchine sincrone: generalità e principio di funzionamento. Macchine a corrente continua: generalità. Funzionamento, equazioni, caratteristiche elettromeccaniche, regolazione della velocità.

Generalità sugli impianti elettrici e loro costituzione. Cenni sulle centrali elettriche e sulle fonti energetiche. Cenni sulle linee lunghe ad alta tensione. Linee corte: circuito equivalente, caduta di tensione, rifasamento. Apparecchiature degli impianti: di comando, di manovra, di protezione, di misura. Le condizioni del neutro nelle reti trifasi ad A.T., M.T. e B.T. Costituzione e criteri di dimensionamento delle reti di distribuzione a bassa tensione. Interruttori automatici e relè differenziali. Sicurezza elettrica: protezione contro gli infortuni, riferimenti normativi, effetti fisiologici della corrente, messa a terra di protezione e sue modalità.

**Testi consigliati:**

Appunti informali del docente.

F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, Ed. Pitagora, Bologna.

F. ILICETO, *Lezioni di Elettrotecnica*, vol. III, *Elementi di Impianti elettrici*, Ed. La Goliardica, Roma.

R. MIGLIO, *Circuiti elettrici in corrente continua*, Progetto Leonardo, Bologna.

R. MIGLIO, *Circuiti elettrici in regime variabile*, Progetto Leonardo, Bologna.

R. MIGLIO, *Macchine elettriche rotanti*, Progetto Leonardo, Bologna.

**Esame:** scritto ed orale.

**ELETTROTECNICA****Bo, cds: N**

Docente: **Francesco Negrini** prof ord

**Campi elettromagnetici**

Equazioni di Maxwell in forma locale e integrale nei mezzi stazionari. Equazioni costitutive dei mezzi materiali. Condizioni di continuità sulla superficie di separazione tra due mezzi. Energia di un sistema elettromagnetico e bilanci energetici. Forze e coppie del campo elettromagnetico. Teorema di Poynting. Condizioni iniziali, al contorno e teorema di unicità. Potenziale scalare e potenziale vettore. Passaggio dalla teoria dei campi a quella dei circuiti. Perdite Joule, per isteresi e per correnti parassite. Magneti permanenti. Circuiti magnetici lineari e non lineari. Calcolo dei coefficienti di auto e mutua induzione.

**Teoria dei circuiti**

Reti e circuiti a parametri concentrati e limiti di validità. Leggi di Kirchhoff. Elementi circuitali: resistori, condensatori, induttori, generatori, diodi, transistori e tiristori. Tecniche elementari di manipolazione circuitale: collegamenti in serie e in parallelo, trasformazioni stella-triangolo e triangolo-stella. Metodi generali di analisi dei circuiti: metodo delle equazioni di Kirchhoff, metodo dei potenziali di nodo, metodo delle correnti di maglia. Principio di sovrapposizione degli effetti. Teoremi di Thevenin e di Norton. Teorema di Tellegen. Metodi generali di studio delle reti in fase transitoria: metodo delle equazioni differenziali, funzione di trasferimento, trasformata di Laplace. Reti elettriche in regime sinusoidale. Legge di Ohm simbolica. Impedenza di un circuito. Equazioni di Kirchhoff simboliche. Studio di circuiti in c.a. mediante il metodo simbolico. Risonanza ed antirisonanza. Potenza attiva e potenza reattiva. Potenza complessa. Il rifasamento: calcolo dei condensatori di rifasamento. Sistemi trifase: definizioni e proprietà fondamentali. Cenni sui generatori di alimentazione di un sistema trifase. Utilizzatori a stella e a triangolo. Teorema di equivalenza. Potenza assorbita da un utilizzatore trifase. Misure di potenza nei sistemi trifase, inserzione Aron. Fattore di potenza e rifasamento di un utilizzatore trifase. Sistemi trifase con neutro.

**Macchine elettriche**

Norme CEI: grandezze nominali, riscaldamento delle macchine elettriche, vita dei dielettrici, il rendimento convenzionale ed il collaudo delle macchine elettriche. **Trasformatori**. Principio di funzionamento. Ipotesi di campo. Equazioni interne ed esterne. Relazioni approssimate. Rete equivalente completa. Reti equivalenti semplificate. Funzionamento a vuoto e in cortocircuito. Misura del rendimento. Trasformatori di misura. Trasformatori trifase. Parallelo dei trasformato-

ri. Il campo magnetico rotante. Caratteristiche costruttive delle macchine rotanti in c.a.. Macchine asincrone. Caratteristiche costruttive. Principio di funzionamento. Equazioni interne. Teorema di equivalenza. Coppia elettromagnetica. Equazioni esterne. Rete equivalente. Caratteristica meccanica ed elettromeccanica. Considerazioni tecniche sul funzionamento: avviamento e stabilità del funzionamento a regime. Motori a gabbia e a doppia gabbia. Regolazione della velocità. Generatore asincrono. Macchine sincrone. Caratteristiche costruttive: rotore a poli lisci e a poli sporgenti. Principio di funzionamento. Parallelo degli alternatori. Coppia elettromagnetica. Macchine a corrente continua. Caratteristiche costruttive. F.e.m. indotta alle spazzole. Reazione di armatura. Commutazione: poli ausiliari ed avvolgimenti compensatori. Coppia elettromagnetica. Equazioni interne ed esterne della dinamo. Caratteristica esterna. Dinamo autoeccitata in parallelo. Motore con eccitazione in parallelo: principio di funzionamento, equazioni interne ed esterne, caratteristica meccanica, avviamento e regolazione della velocità. Motore eccitato in serie.

### Cicli di seminari integrativi

Il corso viene integrato normalmente con lo svolgimento di tre cicli di seminari sui seguenti temi di elettromagnetismo applicato:

- 1) Applicazioni industriali della superconduttività.
- 2) Principi di Ingegneria magnetofluidodinamica.
- 3) Sistemi elettromagnetici per la fusione termonucleare controllata.

### Modalità d'esame

L'esame si svolge generalmente mediante una prova scritta ed una prova orale: tutta la documentazione necessaria e sufficiente per superare tali prove viene distribuita durante le ore di lezione e di esercitazione.

### Propedeuticità consigliate

Analisi II, Fisica II.

### Tesi di Laurea

Sono disponibili in particolare su argomenti relativi ai tre cicli di seminari sull'elettromagnetismo applicato: applicazioni industriali della superconduttività (MAGLEV, SMES, schermi magnetici, filtri magnetici, magneti s.c. per MHD, magneti s.c. per alti campi, etc.), conversione diretta dell'energia, sistemi elettromagnetici per la FTC, etc.

### Riferimenti bibliografici

1. F. BAROZZI, F. GASPARINI, *Fondamenti di Elettrotecnica: elettromagnetismo*, UTET, Torino, 1989.
2. F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, Ed. Pitagora, 1971.
3. G. FABRICATORE, *Elettrotecnica ed applicazioni*, Ed. Liguori, 1994.
4. S. BOBBIO, L. DE MENNA, G. MIANO, L. VEROLINO, *Esercizi di Elettrotecnica*, vol. I, II, III, IV, ed. CUEN, Napoli, 1998.
5. J.A. EDMINSTER, M. NAHVI, *Elettrotecnica*, (2 volumi), Collana SHAUM, McGraw-Hill, 1997.
6. M. GUARNIERI, A. STELLA, *Principi ed Applicazioni di Elettrotecnica*, (2 volumi), Ed. Progetto Padova, 2001.
7. P. GHIGI, M. MARTELLI, F. MASTRI, *Esercizi di Elettrotecnica*, Progetto Leonardo, Bologna, 1997.
8. DORF, SVOBODA, *Circuiti Elettrici*, Ed. Apogeo, Milano, 2001.
9. C. ALEXANDER, M. SADIKU, *Circuiti Elettrici*, McGraw Hill, 2001.

**ELETTROTECNICA****BO, cds: R**Docente: **Pier Luigi Ribani**, prof. ass.

*Teoria dei Circuiti.* Teoria dei circuiti elettrici a parametri concentrati. Reti elettriche in regime variabile quasi-stazionario. Cenni ai fenomeni transitori. Reti elettriche in regime sinusoidale. Sistemi trifase: simmetrico ed equilibrato, simmetrico e squilibrato, a quattro fili.

*Trasformatori.* Generalità costruttive e principio di funzionamento. Circuito elettrico equivalente. Rendimento convenzionale, prova a vuoto e prova in corto circuito, variazione di tensione. Trasformatore trifase. Autotrasformatore. Parallelo dei trasformatori.

*Macchine asincrone.* Motore asincrono trifase. Generalità costruttive e principio di funzionamento. Teorema di equivalenza e circuito elettrico equivalente per fase. Caratteristica meccanica ed elettromeccanica. Regolazione della velocità ed avviamento. Funzionamento da freno e da generatore. Motore asincrono monofase. Generalità costruttive e principio di funzionamento. Caratteristica meccanica ed avviamento.

*Impianti elettrici.* Generalità sugli impianti elettrici e loro costituzione. Cenni sulle centrali elettriche e sulle fonti energetiche. Linee elettriche: circuito equivalente, caduta di tensione, rifasamento. Apparecchiature degli impianti: di comando, di manovra, di protezione, di misura. Interruttori automatici. Protezione dalle sovracorrenti e dalle sovratensioni. Sicurezza elettrica: effetti fisiologici della corrente, protezione contro gli infortuni, impianti di terra ed interruttori differenziali, riferimenti normativi.

**Modalità di esame:**

Una prova scritta ed una orale.

**Testi consigliati:**G. FABRICATORE, *Elettrotecnica e applicazioni*, Ed. Liguori, Napoli.

Sono disponibili dispense del docente.

**ELETTROTECNICA****BO, cds: Q**Docente: **Francesco Negrini** prof. ord.**Campi elettromagnetici**

Equazioni di Maxwell in forma locale e integrale nei mezzi stazionari. Equazioni costitutive dei mezzi materiali. Condizioni di continuità sulla superficie di separazione tra due mezzi. Energia di un sistema elettromagnetico e bilanci energetici. Forze e coppie del campo elettromagnetico. Teorema di Poynting. Condizioni iniziali, al contorno e teorema di unicità. Potenziale scalare e potenziale vettore. Passaggio dalla teoria dei campi a quella dei circuiti. Perdite Joule, per isteresi e per correnti parassite. Magneti permanenti. Circuiti magnetici lineari e non lineari. Calcolo dei coefficienti di auto e mutua induzione.

**Teoria dei circuiti**

Reti e circuiti a parametri concentrati e limiti di validità. Leggi di Kirchhoff. Elementi circuitali: resistori, condensatori, induttori, generatori, diodi, transistori e tiristori. Tecniche elementari di manipolazione circuitale: collegamenti in serie e in parallelo, trasformazioni stella-triangolo e triangolo-stella. Metodi generali di analisi dei circuiti: metodo delle equazioni di Kirchhoff, metodo dei potenziali di nodo, metodo delle correnti di maglia. Principio di sovrapposizione degli

effetti. Teoremi di Thevenin e di Norton. Teorema di Tellegen. Metodi generali di studio delle reti in fase transitoria: metodo delle equazioni differenziali, funzione di trasferimento, trasformata di Laplace. Reti elettriche in regime sinusoidale. Legge di Ohm simbolica. Impedenza di un circuito. Equazioni di Kirchhoff simboliche. Studio di circuiti in c.a. mediante il metodo simbolico. Risonanza ed antirisonanza. Potenza attiva e potenza reattiva. Potenza complessa. Il rifasamento: calcolo dei condensatori di rifasamento. Sistemi trifase: definizioni e proprietà fondamentali. Cenni sui generatori di alimentazione di un sistema trifase. Utilizzatori a stella e a triangolo. Teorema di equivalenza. Potenza assorbita da un utilizzatore trifase. Misure di potenza nei sistemi trifase, inserzione Aron. Fattore di potenza e rifasamento di un utilizzatore trifase. Sistemi trifase con neutro.

### Macchine elettriche

Norme CEI: grandezze nominali, riscaldamento delle macchine elettriche, vita dei dielettrici, il rendimento convenzionale ed il collaudo delle macchine elettriche. Trasformatori. Principio di funzionamento. Ipotesi di campo. Equazioni interne ed esterne. Relazioni approssimate. Rete equivalente completa. Reti equivalenti semplificate. Funzionamento a vuoto e in cortocircuito. Misura del rendimento. Trasformatori di misura. Trasformatori trifase. Parallelo dei trasformatori. Il campo magnetico rotante. Caratteristiche costruttive delle macchine rotanti in c.a.. Macchine asincrone. Caratteristiche costruttive. Principio di funzionamento. Equazioni interne. Teorema di equivalenza. Coppia elettromagnetica. Equazioni esterne. Rete equivalente. Caratteristica meccanica ed elettromeccanica. Considerazioni tecniche sul funzionamento: avviamento e stabilità del funzionamento a regime. Motori a gabbia e a doppia gabbia. Regolazione della velocità. Generatore asincrono. Macchine sincrone. Caratteristiche costruttive: rotore a poli lisci e a poli sporgenti. Principio di funzionamento. Parallelo degli alternatori. Coppia elettromagnetica. Macchine a corrente continua. Caratteristiche costruttive. F.e.m. indotta alle spazzole. Reazione di armatura. Commutazione: poli ausiliari ed avvolgimenti compensatori. Coppia elettromagnetica. Dinamo autoeccitata in parallelo. Motore con eccitazione in parallelo: principio di funzionamento, equazioni interne ed esterne, caratteristica meccanica, avviamento e regolazione della velocità. Motore eccitato in serie.

### Sistemi elettrici

Produzione di energia elettrica: esigenze e vincoli del servizio, principali tipologie di centrali di produzione, cenni alle fonti non convenzionali. Diagrammi di carico e loro copertura. Struttura di una rete elettrica di potenza: linee, stazioni, sottostazioni, cabine. Principali organi di manovra e protezione. Principali dispositivi di protezione, criteri di scelta e di impiego. Impianti di terra: finalità e vincoli normativi, criteri di dimensionamento. Antinfortunistica elettrica: criteri di prevenzione degli infortuni, normativa, effetti delle folgorazioni e soccorsi di emergenza agli infortunati.

### Modalità d'esame

L'esame si svolge generalmente mediante una prova scritta ed una prova orale: tutta la documentazione necessaria e sufficiente per superare tali prove viene distribuita durante le ore di lezione e di esercitazione.

**Propedeuticità consigliate:** Analisi II, Fisica II.

### Riferimenti bibliografici

1. F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, Ed. Pitagora, 1971.
2. G. FABRICATORE, *Elettrotecnica ed applicazioni*, Ed. Liguori, 1994.

3. J.A. EDMINSTER, M. NAHVI, *Elettrotecnica*, (2 volumi), Collana SHAUM, McGraw-Hill, 1997.
4. M. Guarnieri, A. Stella, *Principi ed Applicazioni di Elettrotecnica*, (2 volumi), Ed. Progetto Padova, 2001.
5. L. DE MENNA, *Elettrotecnica*, Ed. Vittorio Pironti, Napoli 1999.
6. C. ALEXANDER, M. SADIKU, *Circuiti Elettrici*, McGraw Hill, 2001.
7. P. GHIGI, M. MARTELLI, F. MASTRI, *Esercizi di Elettrotecnica*, Progetto Leonardo, Bologna, 1997.
8. DORF, SVOBODA, *Circuiti Elettrici*, Ed. Apogeo, Milano, 2001.

## ELETTROTECNICA

BO, cds: M

Docente: **Raffaello Sacchetti** prof. ass.

Il criterio ispiratore dell'Insegnamento è l'approfondimento dei concetti e delle metodologie fondamentali riguardanti lo studio dei fenomeni elettromagnetici. Vengono in particolare evidenziati i più importanti procedimenti di calcolo dei circuiti elettrici e magnetici e viene affrontato lo studio delle macchine, con particolare riguardo ai trasformatori, alle macchine asincrone e in corrente continua, seguendo un'impostazione fondata su una logica unitaria di carattere generale. Sulla base della teoria, vengono trattate numerose questioni di considerevole interesse tecnico, fra le quali anche quelle relative agli impianti elettrici a media e a bassa tensione.

Equazioni fondamentali dell'elettromagnetismo - Elettrostatica - Elettromagnetismo stazionario: circuiti elettrici; circuiti magnetici lineari e non lineari - Elettromagnetismo quasi stazionario - Bilancio energetico dei sistemi elettromagnetici: calcolo di energie, forze e coppie - Transitorio dei circuiti elettrici - Correnti alternate: leggi di Ohm e di Kirchhoff simboliche; potenza attiva e reattiva; rifasamento; strumenti elettrodinamici di misura - Sistemi trifase: collegamenti a stella e a triangolo; misura delle potenze; sistemi trifase con neutro - Macchine elettriche: ipotesi di campo; perdite nel ferro - Trasformatore: equazioni; rete equivalente; funzionamento a vuoto e in cortocircuito; rendimento; trasformatori di misura; trasformatori trifase - Macchine rotanti in c.a.: nozioni costruttive; campi al traferro; f.e.m. indotta da un campo rotante - Macchine asincrone: equazioni; teorema di equivalenza; coppia; funzionamento da motore, generatore, freno; caratteristica meccanica; avviamento; rotor a gabbia - Macchine sincrone - Macchine in c.c.: f.e.m. alle spazzole, equazioni; coppia; caratteristica esterna; dianmo autoeccitata; motori con eccitazione in parallelo e in serie; caratteristiche meccaniche; avviamento e regolazione di velocità - Impianti elettrici: sistemi di trasporto dell'energia; cadute di tensione in linea; riscaldamento dei conduttori; reti di distribuzione a media e bassa tensione; cabine; messa a terra; protezione contro gli infortuni.

Propedeutici all'insegnamento di Elettrotecnica sono i corsi di Analisi matematica e di Fisica II.

### Testi consigliati:

- 1) F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, Ed. Pitagora, Bologna.
- 2) Dispense integrative redatte dal docente.

Le esercitazioni numeriche e di laboratorio costituiscono parte integrante dell'insegnamento.

Esame: articolato, di regola, in una prova scritta ed in una prova orale.

**ELETTROTECNICA L**

Docente: Francesco Negrini prof. ord.

BO, cds: G\_Bo, P

**Campi Elettromagnetici**

Richiami sui principali operatori differenziali lineari. Definizioni delle grandezze fondamentali. Equazioni di Maxwell in forma locale ed integrale. Passaggio dalla teoria dei campi alla teoria dei circuiti.

**Circuiti Elettrici**

Reti e circuiti a parametri concentrati. Leggi di Kirchhoff. Principali elementi circuitali: resistenze, induttori, condensatori, generatori indipendenti di tensione e di corrente, diodi, transistori, tiristori. Regimi stazionari. Serie e parallelo di resistenze. Trasformazioni triangolo - stella. Metodi di studio dei circuiti elettrici. Metodo delle equazioni di Kirchhoff. Metodo dei potenziali di nodo. Metodo delle maglie. Principio di sovrapposizione degli effetti. Teorema di Tellegen. Teoremi di Thevenin e di Norton. Studio delle reti in fase transitoria. Circuiti RC, LC, RLC. Stato iniziale dei componenti con memoria. Regimi sinusoidali. Legge di Ohm simbolica e concetto di impedenza. Leggi di Kirchhoff simboliche. Studio di circuiti in regime sinusoidale mediante il metodo simbolico. Potenza in regime sinusoidale. Rifasamento. Sistemi trifase. Utilizzatori a stella ed a triangolo. Utilizzatori equilibrati e squilibrati. Potenza assorbita da un utilizzatore trifase. Trifase con neutro.

**Macchine elettriche**

*Generalità.* Circuiti magnetici. Legge di Hopkinson. Fenomeni di perdita nelle macchine elettriche (perdite Joule, per isteresi e per correnti parassite), Norme CEI.

**Il trasformatore.** Principio di funzionamento. Equazioni interne ed esterne. Circuiti equivalenti. Funzionamento a vuoto ed in corto circuito. Misura del rendimento. Trasformatori trifase.

**Campo magnetico rotante**

**Macchine asincrone.** Principio di funzionamento e caratteristiche costruttive. Equazioni interne ed esterne. Teorema di equivalenza. Caratteristica meccanica ed elettromeccanica.

**Macchine sincrone.** Principio di funzionamento e caratteristiche costruttive degli alternatori e dei motori.

**Macchine a corrente continua.** Principio di funzionamento e caratteristiche costruttive delle dinamo e dei motori. F.e.m. indotta alle spazzole. Commutazione. Coppia elettromagnetica.

**Impianti elettrici**

Produzione di energia elettrica: esigenze e vincoli del servizio, principali tipologie di centrali di produzione, cenni alle fonti non convenzionali. Diagrammi di carico e loro copertura. Struttura di una rete elettrica di potenza: linee, stazioni, sottostazioni, cabine. Principali organi di manovra e protezione. Principali dispositivi di protezione, criteri di scelta e di impiego. Impianti di terra: finalità e vincoli normativi, criteri di dimensionamento. Antinfortunistica elettrica: criteri di prevenzione degli infortuni, normativa, effetti delle folgorazioni e soccorsi di emergenza agli infortunati.

**Modalità d'esame**

L'esame si svolge generalmente mediante una prova scritta ed una prova orale: tutta la documentazione necessaria e sufficiente per superare tali prove viene distribuita durante le ore di lezione e di esercitazione.

**Propedeuticità consigliate:** Analisi II, Fisica II.



### Riferimenti bibliografici

1. F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, Ed. Pitagora, 1971.
2. G. FABRICATORE, *Elettrotecnica ed applicazioni*, Ed. Liguori, 1994.
3. J.A. EDMINSTER, M. NAHVI, *Elettrotecnica*, (2 volumi), Collana SHAUM, McGraw-Hill, 1997.
4. M. GUARNIERI, A. STELLA, *Principi ed Applicazioni di Elettrotecnica*, (2 volumi), Ed. Progetto Padova, 2001.
5. C. ALEXANDER, M. SADIKU, *Circuiti Elettrici*, McGraw Hill, 2001.
6. P. GHIGI, M. MARTELLI, F. MASTRI, *Esercizi di Elettrotecnica*, Progetto Leonardo, Bologna, 1997.
7. DORF, SYOBODA, *Circuiti Elettrici*, Ed. Apogeo, Milano, 2001.
8. S. BOBBIO, L. DE MENNA, G. MIANO, L. VEROLINO, *Esercizi di Elettrotecnica*, vol. I, II, III, IV, ed. CUEN, Napoli, 1998.

### ELETTROTECNICA II

BO, cds: R, C (VO)

Docente: Pier Luigi Ribani prof. ass.

*Produzione della energia elettrica.* Centrali di produzione, vari tipi di impianto e loro impatto ambientale: impianti idroelettrici, termoelettrici e nucleari. Produzione di energia elettrica per via eolica e solare. Principali caratteristiche dei sistemi di accumulo della energia elettrica. Impianti con celle a combustibile.

*Generatore sincrono.* Principio di funzionamento e caratteristiche costruttive. Circuito equivalente. Parallelo con una rete trifase di potenza infinita. Funzionamento da compensatore sincrono.

*Conversione statica dell'energia elettrica.* Componenti elettronici di potenza: diodo, transistor, IGBT, GTO, SCR. Principali convertitori: raddrizzatore, inverter e chopper. Azionamenti dei motori asincroni. Applicazioni nel settore industriale e del trasporto. Veicoli elettrici e principali schemi costruttivi.

*Inquinamento elettromagnetico.* Campi elettrici e magnetici generati dalle linee di trasmissione della energia elettrica. Campi elettromagnetici generati da sistemi per le telecomunicazioni. Effetti biologici e riferimenti normativi.

### Modalità di esame. Orale

Sono disponibili dispense del docente in cui sono indicati numerosi testi per la consultazione.

### ELETTROTECNICA L

BO, cds: R

Docente: Pier Luigi Ribani prof. ass.

*Teoria dei Circuiti.* Teoria dei circuiti elettrici a parametri concentrati. Reti elettriche in regime variabile quasi-stazionario. Cenni ai fenomeni transitori. Reti elettriche in regime sinusoidale. Sistemi trifase: simmetrico ed equilibrato, a quattro fili.

*Trasformatori.* Generalità costruttive e principio di funzionamento. Circuito elettrico equivalente. Rendimento convenzionale, prova a vuoto e prova in corto circuito, variazione di tensione. Trasformatore trifase. Parallelo dei trasformatori.

**Macchine asincrone.** Motore asincrono trifase. Generalità costruttive e principio di funzionamento. Teorema di equivalenza e circuito elettrico equivalente per fase. Caratteristica meccanica ed elettromeccanica. Regolazione della velocità ed avviamento. Funzionamento da freno e da generatore.

**Impianti elettrici.** Generalità sugli impianti elettrici e loro costituzione. Linee elettriche: circuito equivalente, caduta di tensione, rifasamento. Apparecchiature degli impianti: di comando, di manovra, di protezione, di misura. Interruttori automatici. Protezione dalle sovracorrenti e dalle sovratensioni. Sicurezza elettrica: effetti fisiologici della corrente, protezione contro gli infortuni, impianti di terra ed interruttori differenziali, riferimenti normativi.

#### **Modalità di esame:**

Una prova scritta ed una orale.

#### **Testi consigliati:**

G. FABRICATORE, *Elettrotecnica e applicazioni*, Ed. Liguori, Napoli.

Sono disponibili dispense del docente.

## **ELETTROTECNICA L**

**BO, cds: E**

### **I. Fondamenti di Elettrotecnica - Docente: Carlo Angelo Borghi, prof. straordinario.**

- Calcolo vettoriale: operatori vettoriali, proprietà dei campi vettoriali.
- Grandezze e leggi fondamentali dell'Elettromagnetismo: campi vettoriali ed equazioni generali dell'Elettromagnetismo in forma locale ed in forma integrale, equazioni di legame materiale, relazioni di continuità sulla superficie di separazione di due mezzi.
- Elettrostatica: equazioni fondamentali, potenziale elettrico generato da una carica puntiforme e da una distribuzione di carica, equazioni di Poisson e di Laplace, teorema di unicità, regime elettrostatico per materiali conduttori ed isolanti, influenza elettrostatica, schermi elettrostatici, il condensatore, calcolo della capacità per geometrie piane e cilindriche, rigidità dielettrica, energia elettrostatica, effetti capacitivi per linee elettriche bifase e monofase,
- Elettrodinamica stazionaria: campo elettrico impresso e forza elettromotrice, legge di Ohm e resistenza elettrica, principi di Kirchhoff, effetti dissipativi associati alla conduzione.
- Magnetostatica: potenziale vettore, scelta di Coulomb, equazione di Poisson vettoriale, potenziale vettore generato da una distribuzione di corrente, potenziale generato da correnti filiformi, materiali ferromagnetici, ciclo di isterisi, energia magnetica e perdite per isterisi, materiali ferromagnetici dolci e materiali ferromagnetici duri, circuiti magnetici, legge di Hopkinson e principi di Kirchhoff per i circuiti magnetici, magneti permanenti e loro dimensionamento, energia dissipata per correnti parassite, coefficienti di auto e mutua induzione, energia magnetica espressa tramite i coefficienti di auto e mutua induzione.
- Elettrodinamica quasi stazionaria: legge di Ohm generalizzata, leggi di Kirchhoff delle correnti e delle tensioni, limiti di applicabilità dell'approssimazione circuitale.
- Forze e coppie: forza elettrostatica fra le armature di un condensatore, forza esercitata da un elettromagnete, coppia fra bobine concentriche.



## II. Circuiti Elettrici - Docente: Paolo Raffaele Ghigi prof. ord.

- Componenti circuitali e collegamenti: componenti fisici reali e schemi matematici (modelli), potenza ed energia, convenzioni dell'utilizzatore e del generatore, circuiti di soli bipoli resistivi e generatori indipendenti.
- Analisi circuittale: equazioni dipendenti e indipendenti, numero delle equazioni indipendenti, metodi per la scrittura delle equazioni: metodo di riferimento (Tableau), metodo dei nodi, metodo delle maglie, cenni al metodo dei tagli e a quello degli anelli, metodi di eliminazione delle tensioni o delle correnti.
- Componenti generatori dipendenti: revisione dei metodi di scrittura delle equazioni dei circuiti in presenza di generatori dipendenti.
- Relazioni o teoremi: di unicità, di Tellegen, di sostituzione, di sovrapposizione, di Thevenin, di Norton, di reciprocità.
- Circuiti con bipoli resistivi e un solo induttore o un solo condensatore.
- Transitori del primo ordine, circuiti con più componenti induttori o condensatori, transitori di secondo ordine e superiore, revisione dei metodi di scrittura delle equazioni dei circuiti in presenza di componenti L e C, soluzione dei transitori per via differenziale, componente transitoria e componente di regime, fenomeni impulsivi: gradino di carica e impulso di corrente, gradino di flusso e impulso di tensione, metodo delle variabili di stato, soluzione dei transitori con le trasformate di Laplace, risposta con ingresso zero e risposta nello stato zero, trasformate dell'impulso e del gradino, relazione tra impulso e gradino e tra le rispettive trasformate.
- Impedenze generalizzate, generalizzazione ai circuiti di impedenze generalizzate di tuffi i risultati conseguiti nello studio dei circuiti di resistori.
- Stabilità in senso stretto, stabilità semplice e instabilità.
- Quadro comparativo tra alcuni metodi trasformativi ampiamente usati nello studio dei circuiti: metodo Simbolico (o di Steinmetz), Fourier serie, Fourier integrale, Laplace,
- Studio dei circuiti in condizioni di regime sinusoidale, impedenze simboliche, estensione ai circuiti di impedenze di tutti i risultati conseguiti nello studio dei circuiti di resistori, analisi delle potenze in regime sinusoidale: potenza istantanea, istantanea attiva e istantanea reattiva, potenza attiva e potenza reattiva, additività delle potenze, potenza complessa, espressioni delle varie potenze e relazioni tra esse.
- Costituzione di un sistema elettrico di potenza, sistemi trifase, sistemi trifase con e senza neutro, sistemi simmetrici e non, carichi a triangolo e a stella, carichi equilibrati e non, vari metodi per il calcolo dei sistemi trifase, calcolo delle potenze attiva e reattiva.
- Multipoli: multipoli resistivi, matrice delle conduttanze e relative proprietà, quadripoli e doppi bipoli, varie matrici rappresentative, rispettive relazioni e vantaggi.
- Comportamento di circuiti e componenti al variare della frequenza, fenomeni di risonanza serie e parallelo.

### Testi consigliati:

- S. BASILE, *Elettrotecnica*, Vol. II, Ed. Patron, Bologna, 1965.
- J.D. JACKSON, *Classical Electrodynamics*, John Wiley and Sons, New York, 1975.
- M. GUARNIERI, G. MALESANI, *Elementi di Elettrotecnica: Campi Elettromagnetici*, Ed. Progetto Padova, 1999.
- P.R. GHIGI, *Lezioni Di Elettrotecnica*, Utet, Torino, 1999.
- F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica Generale*, Pitagora Editrice, Bologna, 1971.
- F. BAROZZI, F. GASPARINI, *Elettrotecnica Generale*, Ed. Utet, Torino, 1981.
- C.A. DESOER, E.S. KUH, *Fondamenti di Teoria Dei Circuiti*, Ed. Angeli, Milano.

L.O. CHUA, C.A. DESOER, E.S. KUH, *Circuiti Lineari e non Lineari*, Jackson Libri, Milano.  
 P.R. GHIGI, M. MARTELLI, F. NASTRI, *Esercizi di Elettrotecnica*, Ed. Esculapio, Bologna.

## ELETTROTECNICA L

FO, cds: cla, clm

Docente: **Paolo Raffaele Ghigi** prof. ord.

### *Circuiti elettrici*

Componenti e collegamenti; equazioni dei componenti ed equazioni dei collegamenti. Regimi sinusoidali: grandezze sinusoidali e loro rappresentazione, impedenze e ammettenze. Diagrammi temporali e diagrammi nel piano complesso; risonanza e antirisonanza. Metodi di scrittura delle equazioni per circuiti di soli bipoli (nodi e maglie). Trasformazioni di bipoli; trasformazioni di Thevenin e Norton; generatori dipendenti; impedenze equivalenti. Analisi delle potenze in regime sinusoidale. Sistemi trifase. Transitori: studio delle condizioni iniziali. Transitori: studio col calcolo differenziale. Transitori: studio con le trasformate di Laplace. Le linee elettriche.

### *Macchine elettriche*

Il trasformatore. Il campo rotante; le macchine a induzione. Le macchine in continua. I generatori sincroni.

### *Testi consigliati*

GHIGI P., *Lezioni di Elettrotecnica*, UTET, Torino, 2001.

## ELETTROTECNICA LA

CE, cds: dut, dul, dui, clb

Docente: **Franco Mastri** ric.

### *Programma*

*Generalità sui circuiti elettrici.* Definizione di circuito elettrico e di componente. Leggi di Kirchhoff. Relazioni costitutive dei componenti. Proprietà energetiche. Componenti attivi e passivi.

*Componenti.* Bipoli ideali: resistore, generatori indipendenti, induttore, condensatore. Componenti multipolo e multiporta. Generatori dipendenti, trasformatore ideale, induttori mutuamente accoppiati.

*Equivalenze notevoli.* Bipoli in serie e in parallelo. Trasformazione stella triangolo. Equivalenze notevoli tra bipoli contenenti generatori. Formule di Millmann.

*Metodi generali di analisi.* Grafi e proprietà topologiche dei circuiti. Metodi delle maglie fondamentali, dei tagli fondamentali, dei nodi e degli anelli.

*Teoremi sui circuiti elettrici.* Teoremi di Tellegen, di sostituzione, di sovrapposizione, di non amplificazione, di reciprocità, di Thévenin e di Norton.

*Circuiti dinamici.* Analisi nel dominio del tempo. Stato e risposta di un circuito dinamico. Esempi di risposte di circuiti del primo e del secondo ordine. Componenti della risposta: componente transitoria, componente di regime, risposta nello stato zero, risposta con ingresso zero. Equazioni di stato. Analisi mediante trasformata di Laplace.

*Regimi sinusoidali.* Metodo simbolico. Potenze in regime sinusoidale: potenza attiva, reattiva

e apparente. Teorema di addittività delle potenze. Teorema del massimo trasferimento di potenza attiva. Rifasamento. Risonanza. Sovrapposizione di regimi sinusoidali. Cenno sui regimi periodici e sulla serie di Fourier. Circuiti trifase.

#### Testi consigliati

Appunti delle lezioni forniti dal docente.

P. GHIGI, M. MARTELLI, F. MASTRI, *Esercizi di elettrotecnica*, Esculapio.

C.A. DESOER, E.S. KUH, *Fondamenti di teoria dei circuiti*, Angeli.

V. DANIELE, A. LIBERATORE, R. GRAGLOIA, S. MANETTI, *Elettrotecnica*, Monduzzi.

### ELETTROTECNICA LA

Docenti: **Fiorenzo Filippetti** prof. ass.

**BO, cds: I (A-F), A**

**Maria Martelli** prof. ass.

**BO, cds: I (G-Z)**

L'insegnamento ha essenzialmente carattere formativo e di base per gli studi di Ingegneria. La materia di insegnamento è suddivisa in tre capitoli: Elettromagnetismo, Teoria dei Circuiti, Macchine Elettriche.

#### *Elettromagnetismo*

Grandezze ed equazioni del campo elettromagnetico - Elettrostatica: definizioni ed equazioni, regime elettrostatico dei conduttori e degli isolanti, schermi elettrostatici, condensatori - Elettromagnetismo stazionario: definizioni ed equazioni, ricerca del campo magnetico nel caso generale, potenziale vettore, magneti permanenti.

#### *Teoria dei Circuiti*

Elemento circuitale e circuito elettrico, leggi di Kirchhoff e leggi descrittive degli elementi, il resistore, il condensatore e l'induttore ideale, i generatori indipendenti ed i generatori ideali - Teoria dei grafi: insiemi di taglio fondamentali e maglie fondamentali, equazioni topologiche - Metodi di analisi dei circuiti: metodo generale d'analisi, metodo di eliminazione delle tensioni, metodo delle maglie, metodo dei tagli e metodo dei nodi, principio di sovrapposizione degli effetti - Funzione di trasferimento, teorema di Thèvenin, teorema di Norton e teorema di Millman - Teorema di Tellegen ed addittività delle potenze - Circuiti magnetici, coefficienti di auto e mutua induzione - Circuiti elettrici in regime variabile, analisi del transitorio dei circuiti, analisi dei circuiti con la trasformata di Laplace - Il regime sinusoidale: metodo dei fasori, risonanza ed antirisonanza, potenze attiva e reattiva, il rifasamento di un bipolo - Cenni sulla stabilità delle reti, risposta di rete per diversi tipi di ingresso - Sistemi trifase.

#### *Macchine Elettriche*

Il trasformatore - Metodologie generali per lo studio di macchine rotanti, il campo rotante - La macchina asincrona - Macchine a collettore - Cenni sulle macchine sincrone.

#### Testi consigliati:

C.K. ALEXANDER, M.N.O. SADIKU, *Circuiti elettrici*, Ed. Mc-Graw Hill.

C.A. DESOER, E.S. KUH, *Fondamenti di teoria dei circuiti*, Ed. Angeli, Milano.

L.O. CHUA, C.A. DESOER, E.S. KUH, *Circuiti lineari e non lineari*, Jackson libri, Milano.

V. DANIELE, R. GRAGLIA, A. LIBERATORE, S. MANETTI, *Elettrotecnica*, Ed. Monduzzi, Bologna.

F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, Ed. Pitagora, Bologna.

M. MARTELLI, Dispense redatte a cura del Docente.

P.R. GHIGI, M. MARTELLI, F. MASTRI, *Esercizi di Elettrotecnica*, Ed. Esculapio, Bologna.

*Esame*: scritto e/o orale.

## **ELETTROTECNICA LB**

Docente: **Maria Martelli** prof.ass.

**BO, cds: L, T**

Il Corso si propone di illustrare il principio di funzionamento delle principali macchine elettriche.

Il Corso si rivolge agli studenti Elettronici, Informatici e Telecomunicazionisti del Vecchio Ordinamento che sono a debito dell'esame di Elettrotecnica.

Per gli altri argomenti trattati nel Corso di Elettrotecnica (circuiti elettrici) si rimanda al Corso di Elettrotecnica LA

### *Testi consigliati:*

M. MARTELLI, Dispense redatte a cura della Docente.

## **ELETTROTECNICA**

Docente: **Massimo Fabbri** ric.

**BO, cds: N**

### **Campi Elettromagnetici**

Richiami sui principali operatori differenziali lineari. Definizioni fondamentali. Equazioni di Maxwell in forma locale ed integrale. Dalla teoria dei campi alla teoria dei circuiti.

### **Circuiti Elettrici**

Reti e circuiti a parametri concentrati. Leggi di Kirchhoff. Principali elementi circuitali: resistenze, induttori, condensatori, generatori indipendenti di tensione e di corrente. Regimi stazionari. Serie e parallelo di resistenze. Trasformazioni triangolo - stella. Metodi di studio dei circuiti elettrici. Metodo delle equazioni di Kirchhoff. Metodo dei potenziali di nodo. Metodo delle maglie. Principio di sovrapposizione degli effetti. Teorema di Tellegen. Teoremi di Thevenin e di Norton. Regimi transitori. Circuiti RC, LC, RLC. Stato iniziale dei componenti con memoria. Regimi sinusoidali. Legge di Ohm simbolica e concetto di impedenza. Leggi di Kirchhoff simboliche. Studio di circuiti in regime sinusoidale mediante il metodo simbolico. Potenza in regime sinusoidale. Rifasamento. Sistemi trifase. Utilizzatori a stella ed a triangolo. Utilizzatori equilibrati e squilibrati. Potenza assorbita da un utilizzatore trifase. Trifase con neutro.

### **Macchine elettriche**

**Generalità.** Circuiti magnetici. Legge di Hopkinson. Fenomeni di perdita nelle macchine elettriche, Norme CEI.

**Il trasformatore.** Principio di funzionamento. Ipotesi di campo. Equazioni interne ed esterne. Circuiti equivalenti. Funzionamento a vuoto ed in corto circuito. Misura del rendimento. Trasformatori trifase.

### **Campo magnetico rotante**

**Impianti elettrici.** Generalità sugli impianti elettrici e loro costituzione. Cenni sulle centrali elettriche e sulle fonti energetiche.

### **Riferimenti bibliografici**

1. F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, Ed. Pitagora, 1971.
2. G. FABRICATORE, *Elettrotecnica ed applicazioni*, Ed. Liguori, 1994.
3. S. BOBBIO, *Esercizi di Elettrotecnica*, Cooperativa Universitaria Editrice Napoletana, 1992.

## **ENERGETICA E SISTEMI NUCLEARI**

**BO, cds: N**

Docente: Ruben Angelo Ugo Scardovelli prof. ass.

### **Programma**

Analisi dei fabbisogni di energia elettrica e termica. Le fonti di energia convenzionale (carbone, petrolio, gas, idroelettricità). L'energia nucleare. Le fonti di energia integrativa.

Energia geotermica: acquifero e copertura; gradiente e campi geotermici; impianti geotermoelettrici a vapore dominante, ad acqua dominante; rocce calde secche; sistemi ibridi. Utilizzazione di fluidi geotermici a bassa entalpia, applicazioni nella industria, nell'agricoltura e nel settore civile.

Energia solare: radiazione solare su superfici inclinate; utilizzazioni termiche; collettori (piani e parabolici) e calcolo del rendimento; accumulo termico; sistemi passivi; impianti solari termici ad aria e ad acqua per uso industriale, agricolo e civile.

Conversione elettrica della energia solare; centrali solari a eliostati e ciclo di Rankine; conversione fotovoltaica, tecnologia delle celle solari; rendimento delle celle ed effetto della temperatura; applicazioni di pannelli fotovoltaici.

Energia eolica: disponibilità di energia del vento; analisi dei siti eolici; distribuzione probabilistica di Rayleigh e Weibull; rendimento teorico di Betz; aeromotori e aerogeneratori di piccola, media e grande taglia; impianti eolici.

Energia marina: impianti OTEC; utilizzazione delle maree per la produzione di energia elettrica; energia disponibile dal moto ondoso; potenzialità di applicazioni nel Mare Adriatico; schemi di impianto.

Energia dai rifiuti: produzione ed utilizzazione dei rifiuti; inceneritori; produzione di combustibili; biogas, compost.

Teleriscaldamento: distribuzione di acqua calda in reti di condotte; ottimizzazione dei percorsi e del diametro delle tubazioni; valvole e coibentazione; configurazione e tipologia delle reti di teleriscaldamento. Cogenerazione.

Reattori nucleari innovativi: reattori a sicurezza intrinseca e passiva, reattori a fusione.

Effetti sanitari ed ambientali connessi alla produzione di energia.

**ESTIMO**

BO, cds: D

Docente: **Guido Pongiluppi** prof. inc.

L'Insegnamento si propone di fornire, date le necessarie premesse di istituzioni di economia, i principi generali della disciplina estimativa, approfondendo le tematiche applicate all'*estimo civile ed urbano*, industriale ed ambientale. Mediante lezioni iniziali di matematica finanziaria, propedeutiche ad un'analisi quantitativa degli elementi conoscitivi, il corso perviene allo sviluppo delle tematiche qualitative relative al giudizio di stima, applicate a quesiti estimatici concreti. Sono, inoltre, previste lezioni sull'esercizio professionale.

L'insegnamento viene integrato da esercitazioni svolte in aula.

**Parte I - ISTITUZIONI DI ECONOMIA****Parte prima: Inquadramento generale**

**Natura e metodi della scienza economica:** Che cos'è l'economia politica?; Economia politica e scienze naturali: un problema epistemologico; Economia politica e analisi economica: l'uso dei modelli nell'economia; I giudizi di valore in economia; etica ed economia.

**Cenni sull'evoluzione del pensiero economico:** Il pensiero antico; L'economica classica; Marxismo; Marginalismo; Teoria Keynesiana; Il neo liberismo.

**Parte seconda: Problemi di microeconomia**

**Teoria della domanda:** La teoria del consumatore; La domanda di mercato; Sviluppi recenti nella teoria della domanda di mercato; La domanda per il prodotto di un'impresa.

**Teoria della produzione:** La funzione di produzione per un singolo prodotto; Le leggi della produzione; Progresso tecnico e funzione della produzione; Equilibrio dell'impresa (problemi di ottimizzazione delle combinazioni di fattori produttivi); Derivazione delle funzioni di costo dalla funzione di produzione.

**Teoria dei costi di produzione:** Alcune considerazioni generali; La teoria neoclassica dei costi di produzione; Teorie moderne dei costi di produzione; Le curve ingegneristiche di costo; Analisi delle economie di scala; Evidenze empiriche; Curve dei costi e processi decisionali.

**Teoria dell'impresa:** Concorrenza perfetta: Considerazioni generali; Equilibrio di breve periodo; Equilibrio di lungo periodo; Equilibrio settoriale e cambiamenti dinamici; Monopolio: Considerazioni generali; Domanda e ricavo; Costi; Equilibrio del monopolista; Oligopolio; Oligopolio non collusivo; Oligopolio collusivo; I cartelli; La leadership di prezzo; Critica alla teoria neoclassica dell'impresa: la controversia marginalista e teoria dell'impresa manageriale.

**Teoria dell'equilibrio economico generale.** Le interdipendenze nel sistema economico; Analisi walrasiana; Esistenza; unicità e stabilità dell'equilibrio; Le interdipendenze settoriali; Input-Output Analysis di Leontieff.

**Testi consigliati:**

Costituisce testo fondamentale per l'acquisizione delle problematiche presentate nel corso:

T. COZZI, S. ZAMAGNI, *Economia Politica*, Il Mulino, Bologna, ultima edizione, Capitoli 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

A lezione verranno suggerite eventuali letture integrative e di approfondimento.



## Parte II - PRINCIPI DI MATEMATICA FINANZIARIA

Interesse semplice, montante semplice, sconto semplice. Interesse composto, montante composto sconto composto. Annualità costanti: accumulazione finale ed iniziale. Annualità costanti illimitate: capitalizzazione. Saggio di interesse e saggio di capitalizzazione.

Redditi transitori e permanenti. Quote di reintegrazione e di ammortamento. Operazioni su valori differiti nel tempo. Rendita perpetua e rendita vitalizia.

### *Estimo generale*

Concetti generali. La previsionalità dell'estimo. Principio dell'ordinarietà ed imprenditore ordinario. Unicità del mondo di stima (comparazione). Scopo della stima: tempo, luogo ed aspetto economico. Criteri di stima: valore di mercato, di costo, di trasformazione, complementare, di surrogazione. Procedimento diretto o sintetico: stima per confronto-diretto (parametri tecnici o economici), a vista, storica, per valori tipici. Procedimento indiretto o analitico. Determinazione del reddito: reddito netto e beneficio fondiario. Determinazione del saggio di capitalizzazione: influenze ascendenti e discendenti. Valore ordinario e valore reale: aggiunte e detrazioni.

### *Principi di estimo urbano*

Valore di mercato dei fabbricati urbani: procedimento sintetico ed analitico. La formazione del prezzo delle aree e la rendita edilizia urbana. Aree urbanizzabili, urbanizzate, edificate ed edificabili. Stima di un'area urbanizzabile. Stima di un'area edificabile. Costo di produzione nell'attività edilizia. Stima delle opere e dei servizi urbani. Stima dei costi delle opere di urbanizzazione. Valore complementare nell'estimo urbano. Valore di trasformazione nell'estimo urbano. Valore di costo di un'area urbana: stima delle opere e dei servizi urbani. Stime cauzionali.

### *Principi di estimo industriale*

Stima delle aree fabbricabili industriali. Valore di mercato dei fabbricati industriali. Valore di trasformazione (siti e cementi). Stima delle cave e delle torbiere.

### *Valutazioni a norme convenzionali: espropriazioni p.u.*

Principi generali. Indennità secondo la legge fondamentale n. 2359/1865. Espropriazione ed occupazioni. Indennità secondo la legge di Napoli n. 2892/1885. Indennità secondo la legge ferroviaria n. 49/1907. Indennità secondo i disposti combinati dalle leggi n. 865/1971 (legge per la casa) e n. 10/1997 (Bucalossi). Sentenze di incostituzionalità. Situazione attuale della legislazione.

### *Stima dei diritti reali*

a) Servitù prediali coattive. Generalità. Passaggio coattivo. Acquedotto coattivo. Elettrodotto coattivo. Valutazione degli immobili gravati da servitù. Servitù militari.

b) Usufrutto, uso e abitazione. Generalità. Valore del diritto dell'usufruttuario. Valore della nuda proprietà. Uso e abitazione.

### *Stime ambientali*

Principi generali. Sulle cave e torbiere. Stima delle acque. Stima dei danni: danni dovuti all'inquinamento. Stima dei danni ambientali.

### *Stima dei nuovi estimi*

Valutazione dei beni ambientali: metodi diretti ed indiretti. Valutazione costi-benefici. Indicatori di redditività, criteri di confronto, determinazione saggio di attualizzazione. Valutazione

d'impatto ambientale. Generalità e legislazione vigente. Modelli di analisi e metodi di valutazione. Stima della dimensione economica. Valutazioni quanti-qualitative. Metodo multicriteri.

#### *Il perito nel processo: l'arbitrato*

Generalità. Consulente tecnico di parte. Consulente tecnico d'ufficio (CTU). Giudice e perito. L'arbitrato.

#### *Catasto*

Principi generali. Nuovo Catasto terreni (NCT) e Nuovo Catasto Edilizio Urbano (NCEU). Funzioni ed adempimenti fondamentali. Formazione, pubblicazione, attivazione e conservazione. La meccanizzazione del catasto. L'utilizzazione dei documenti catastali. Redditi catastali.

#### *Appalto e contabilità dei lavori*

Nozioni di appalto. Tipi e modalità di appalto. Capitolato generale e capitolato speciale. Il cantiere: figure professionali e competenze. Contabilità dei lavori: generalità. Perizie di variante, nuovi prezzi, atto di sottomissione. Documenti contabili.

#### *Contenuti e modalità di svolgimento dell'esame*

L'esame è costituito da una prova scritta obbligatoria, variamente articolata su domande afferenti applicazioni di matematica finanziaria e quesiti sugli argomenti sviluppati nel corso, e da una prova orale finale.

Nel corso dell'anno è data la facoltà, agli studenti frequentanti nell'anno accademico 1995/96, di sostenere due prove scritte su argomenti trattati nelle lezioni. Il superamento di entrambe le prove consente l'immediata possibilità di sostenere la prova orale.

#### *Testi consigliati:*

- a) C. FORTE, B. DE' ROSSI, *Principi di economia ed estimo*, Etaslibri, Milano, 1992.
- b) G. PONGILUPPI, *Diritti ed espropriazioni nelle procedure estimative*, Ed. progetto Leonardo, Bologna, 1994.
- c) I. MICHIELI, *Trattato di Estimo*, Edagricole, Bologna, 1993 segg., solo per quanto attiene alla teoria di matematica finanziaria.
- d) M. GRILLENZONI, G. GRITTANI, *Estimo, teoria, procedure di valutazione e casi applicativi*, Ed. Agricole Bologna, 2a ed., 1995.
- e) M. OREFICE, *Estimo civile*, vol. secondo, Utet, Torino, 1995.
- f) A. REALFONZO, *Teoria e metodo dell'estimo urbano*, Nuova Italia Scientifica, Roma, 1994.

#### *Tesi di laurea*

Le tesi sono a carattere sperimentale, con riferimento a casi pratici, afferenti gli ambiti civile, urbano, industriale ed ambientale, e sviluppati a livello tecnico-economico-estimativo.

## **FISICA GENERALE II**

Docente: **Alessandro Gandolfi** prof. ass.

**BO, cds: D**

Due sono essenzialmente gli scopi che l'Insegnamento si propone:

1. Familiarizzare lo studente con le idee e i concetti fondamentali dell'Elettromagnetismo e

dell'Optica, dando ampio risalto alla base sperimentale che serve come punto di partenza per illustrare le leggi fisiche, le loro implicazioni e le loro limitazioni.

2. Stimolare lo studente a sviluppare la capacità ad usare queste idee ed applicarle ai casi concreti. Con questo l'insegnamento viene a costituire una premessa agli insegnamenti specialistici più avanzati, senza peraltro deviare dal chiaro compito di formazione culturale di base del futuro ingegnere.

### *Programma*

Il campo elettrostatico - Legge di Gauss e della circuitazione - Il problema del potenziale - Il campo elettrostatico in presenza di conduttori - La corrente elettrica stazionaria - Campi impressi e forza elettromotrice - Leggi di Ohm e Joule in forma locale - La legge di conservazione della carica elettrica - Il campo magnetico stazionario - Legge di Gauss e di Ampère - La forza di Lorentz - L'induzione elettromagnetica - Il campo elettrico indotto - Campo indotto e forza di Lorentz - La legge di Ampère/Maxwell - Corrente di spostamento - Le equazioni di Maxwell - Le onde elettromagnetiche - I potenziali ritardati - Il campo elettrico e magnetico nella materia - Fenomeni ottici - Le leggi dell'ottica geometrica - Il modello corpuscolare ed ondulatorio della luce - L'interferenza, la diffrazione e la polarizzazione della luce - Il comportamento corpuscolare della luce nei processi di emissione e di assorbimento - Il dualismo onda-corpuscolo - Il modello elettromagnetico della luce.

L'Insegnamento comprende esercizi e calcoli numerici applicativi.

### *Testi consigliati:*

Consigli su testi di studio e lettura, dettagli sul programma e informazioni sulle modalità d'esame saranno forniti di volta in volta a lezione.

*Esame:* scritto e orale.

*Propedeuticità consigliate:* Per sostenere l'esame è necessario aver superato l'esame di "Fisica generale I".

## **FISICA GENERALE I**

Docente: **Gilio Cambi ric.**

**CE, cds: dud**

### **I - Calcolo Vettoriale**

Grandezze scalari e vettoriali. Rappresentazione vettoriale. Vettori uguali ed opposti. Operazioni con i vettori: somma, differenza, prodotto di uno scalare per un vettore, prodotto scalare, vettoriale e misto. Rappresentazione cartesiana dei vettori. Operazioni fra vettori espressi in forma cartesiana. Derivazione di vettori e versori. Vettori applicati. Momento polare ed assiale di un vettore applicato.

### **II - Meccanica**

Grandezze fisiche e sistemi di unità di misura. Sistema Internazionale (S.I.)

### II A. Cinematica.

Concetto di punto materiale. Moto di un punto materiale. Equazione vettoriale del moto. Vet-

tori posizione, spostamento, velocità ed accelerazione (media ed istantanea). Sistema di ascisse curvilinee. Equazione oraria del moto ed equazione della traiettoria, componenti intrinseche di velocità ed accelerazione. Moti rettilinei e moti piani: moto rettilineo uniforme e uniformemente accelerato, moto armonico semplice, moto circolare, moto dei proiettili. Moto relativo: cenni (velocità ed accelerazione nel moto relativo, accelerazione di trascinamento e di Coriolis).

### II B. Dinamica del punto materiale.

Concetto di forza, misura statica delle forze, dinamometro. Natura vettoriale delle forze. Condizione per l'equilibrio di un punto materiale. Il primo principio della dinamica, esperimenti di Galileo, sistemi di riferimento inerziali. Il secondo principio della dinamica. Reazioni vincolari: vincoli lisci e scabri (forze d'attrito statico e dinamico). Forza peso, forza gravitazionale, forza elastica. Moto di un punto vincolato su di una linea. Pendolo semplice. Forze reali e fittizie (cenni).

### II C. Lavoro ed energia.

Concetto di lavoro e sua espressione in generale. Teorema delle forze vive. Campi di forza conservativi ed energia potenziale. Teorema di conservazione dell'energia meccanica. Potenza. Lavoro delle forze non conservative.

### II D. Dinamica dei sistemi.

Sistemi isolati, forze interne ed esterne. Quantità di moto. Il terzo principio della dinamica: principio di azione e reazione ed enunciato conservativo. Impulso. Teorema dell'impulso e della quantità di moto. Semplici problemi d'urto. Risultante delle forze agenti su un sistema  $n$  di punti materiali e quantità di moto totale del sistema. Momento risultante polare delle forze agenti su un sistema di  $n$  punti materiali e momento angolare. Centro di massa di un sistema di  $n$  punti materiali e sue proprietà. Equazioni Cardinali. Dinamica dei sistemi rigidi (impostazione del problema). Corpo rigido in rotazione attorno ad un asse fisso. Momento angolare di un sistema rigido con asse fisso rispetto all'asse di rotazione, momento di inerzia.

## **FISICA GENERALE LA**

**BO, cds: R,Q**

Docente: **Antonio Zoccoli** prof. ass.

### Finalità dell'insegnamento

Maturazione di concetti basilari della Meccanica (con particolare riguardo alla Dinamica del punto materiale) e loro trattazione col linguaggio dell'analisi matematica, del calcolo vettoriale e integrale. Acquisizione della metodologia scientifico - tecnica necessaria per affrontare in termini quantitativi i problemi di fisica.

### Programma

#### Elementi di calcolo vettoriale

**Cinematica.**- Punto materiale e sistemi di riferimento. Vettore di posizione, velocità, e accelerazione. Moti rettilinei vari. Moto circolare uniforme. Moto armonico semplice e smorzato. Applicazioni alla cinematica dei sistemi di punti materiali: la formula fondamentale della cinematica del corpo rigido. Velocità angolare. Cinematica dei moti relativi: trasformazione di spostamenti, velocità e accelerazioni.

**Dinamica.**- Forze e reazioni vincolari, misura statica di una forza. Cenni di statica (equazioni cardinali, baricentro) e sui fenomeni di attrito.

Primo e secondo principio della dinamica. Massa inerziale. Impulso e quantità di moto. Legge di Newton sulla gravitazione universale. Il problema fondamentale della dinamica. Sistemi isolati. Il terzo principio della dinamica. Applicazioni alla dinamica dei sistemi di punti materiali: conservazione della quantità di moto e del momento della quantità di moto. Problemi d'urto. Le equazioni cardinali della dinamica. Centro di massa e sue proprietà. Momenti d'inerzia. Teorema di Huygens-Steiner. Inerzia di rotazione.

Lavoro ed energia. - Lavoro di una forza e di sistemi di forze. Il teorema delle forze vive. Il Teorema di Koenig. Proprietà dell'energia cinetica. Lavoro compiuto dalla forza peso. Forze posizionali e conservative. Condizioni perché un campo di forza sia conservativo. Potenziali ed energie potenziali. Conservazione dell'energia meccanica. I diversi tipi di equilibrio.

#### Ulteriori informazioni

L'insegnamento presuppone acquisiti da parte dello studente gli elementi basilari della trigonometria, della geometria elementare e dell'analisi matematica (quali i processi di derivazione, di integrazione e di limite di funzioni di una o più variabili).

Una parte delle lezioni è dedicata alla discussione di quesiti e esercizi di meccanica.

L'esame consiste in una prova scritta e in una eventuale successiva prova orale.

#### Testi consigliati

A. BERTIN, M. POLI, A. VITALE, *Fondamenti di Meccanica*, Esculapio Editore (Progetto Leonardo), Bologna.

A. BERTIN, S. DE CASTRO, N. SEMPRINI CESARI, A. VITALE, A. ZOCOLI, *Problemi d'esame di Fisica Generale*, Esculapio Editore (Progetto Leonardo), Bologna.

### **FISICA GENERALE LA**

**BO, cds: G\_Bo(L-Z), P(L-Z)**

Docente: **Mauro Bruno** prof. ass.

#### Finalità dell'insegnamento

Maturazione di concetti basilari della Fisica Generale (con particolare riguardo alla Meccanica del punto) e loro trattazione col linguaggio dell'analisi matematica, del calcolo vettoriale e integrale. Acquisizione della metodologia scientifico-tecnica necessaria per affrontare in termini quantitativi i problemi di fisica.

#### Programma

Introduzione Metodo scientifico. Concetti di spazio, tempo e misura. Definizioni operative di grandezze fisiche. Cenni su misure ed errori di misura.

Elementi di calcolo vettoriale Rappresentazione grafica. Versori. Operazioni fra vettori: somma, differenza, prodotto per uno scalare, prodotto scalare, prodotto vettoriale, prodotto misto, doppio prodotto vettoriale. Rappresentazione cartesiana dei vettori. Trasformazione di vettori. Momenti di un vettore. Derivate ed integrali di vettori. Operatori vettoriali: gradiente, divergenza, rotazionale.

Dinamica del punto materiale Punto materiale. Sistemi di riferimento. Rappresentazione del moto. Spostamento, velocità, accelerazione. Problema diretto ed inverso. Forze. Vincoli. Primo principio della dinamica. Sistemi inerziali. Secondo principio della dinamica. Classificazione dei moti. Moti rettilinei: moto rettilineo uniforme, moto uniformemente accelerato, moto armonico, moto armonico smorzato. Moto piano. Moto centrale.

Lavoro ed energia Definizioni. Teroema delle forze vive. Forze conservative ed energia potenziale. Conservazione dell'energia meccanica. Teorema dell'impulso e della quantità di moto. Teorema del momento dell'impulso e del momento della quantità di moto.

Elementi di dinamica di sistemi di punti Terzo principio della dinamica. Equazioni cardinali. Centro di massa. Momento d'inerzia

#### Ulteriori informazioni

L'insegnamento presuppone acquisiti da parte dello studente gli elementi basilari della trigonometria, della geometria elementare e dell'analisi matematica (quali i processi di derivazione, di integrazione e di limite di funzioni di una o più variabili).

Una parte delle lezioni è dedicata alla discussione di quesiti e esercizi di meccanica.

L'esame consiste in una prova scritta e in una successiva prova orale.

#### Testi consigliati

S. FOCARDI, I. MASSA, A. UGUZZONI, *Fisica generale. Meccanica e Termodinamica*, Casa editrice Ambrosiana.

M. ALONSO, E. J. FINN, *Fisica*, vol. 1, casa editrice Masson.

P. VERONESI, E. FUSCHINI, *Fondamenti di meccanica classica*, Cooperativa Libreria Universitaria editrice.

M. BRUNO, M. D'AGOSTINO, M.L. FIANDRI, *Esercizi di Fisica I*, Cooperativa Libreria Universitaria editrice.

G. M. SALANDIN, P. PAVAN, *Problemi di Fisica*, Vol. 1, Casa editrice Ambrosiana.

### **FISICA GENERALE LA**

**BO, cds: G\_BO (A-K), P(A-K)**

Docente: **Antonio Bertin** prof. ord

#### Finalità dell'insegnamento

Maturazione di concetti basilari della Fisica Generale (con particolare riguardo alla Meccanica del punto) e loro trattazione col linguaggio dell'analisi matematica, del calcolo vettoriale e integrale. Acquisizione della metodologia scientifico - tecnica necessaria per affrontare in termini quantitativi i problemi di fisica.

#### Programma

##### Elementi di calcolo vettoriale

Cinematica.- Punto materiale e sistemi di riferimento. Vettore di posizione, velocità, e accelerazione. Moti rettilinei vari. Moto circolare uniforme. Moto armonico semplice e smorzato. Applicazioni alla cinematica dei sistemi di punti materiali: la formula fondamentale della cinematica del corpo rigido. Velocità angolare. Cinematica dei moti relativi: trasformazione di spostamenti, velocità e accelerazioni.

Dinamica.- Forze e reazioni vincolari, misura statica di una forza. Cenni di statica (equazioni cardinali, baricentro) e sui fenomeni di attrito.

Primo e secondo principio della dinamica. Massa inerziale. Impulso e quantità di moto. Legge di Newton sulla gravitazione universale. Il problema fondamentale della dinamica. Sistemi isolati. Il terzo principio della dinamica. Applicazioni alla dinamica dei sistemi di punti materiali: conservazione della quantità di moto e del momento della quantità di moto. Problemi d'urto. Le equazioni cardinali della dinamica. Centro di massa e sue proprietà. Momenti d'inerzia. Teorema

di Huygens-Steiner. Inerzia di rotazione.

**Lavoro ed energia.** - Lavoro di una forza e di sistemi di forze. Il teorema delle forze vive. Il Teorema di Koenig. Proprietà dell'energia cinetica. Lavoro compiuto dalla forza peso. Forze posizionali e conservative. Condizioni perché un campo di forza sia conservativo. Potenziali ed energie potenziali. Conservazione dell'energia meccanica. I diversi tipi di equilibrio.

#### Ulteriori informazioni

L'insegnamento presuppone acquisiti da parte dello studente gli elementi basilari della trigonometria, della geometria elementare e dell'analisi matematica (quali i processi di derivazione, di integrazione e di limite di funzioni di una o più variabili).

Una parte delle lezioni è dedicata alla discussione di quesiti e esercizi di meccanica.

L'esame consiste in una prova scritta e in una successiva prova orale.

#### Testi consigliati

A. BERTIN, M. POLI, A. VITALE, *Fondamenti di Meccanica*, Esculapio Editore (Progetto Leonardo), Bologna.

A. BERTIN, S. DE CASTRO, N. SEMPRINI CESARI, A. VITALE, A. ZOCOLI, *Problemi d'esame di Fisica Generale*, Esculapio Editore (Progetto Leonardo), Bologna.

#### FISICA GENERALE LA

BO, cds: I (A-F), A

Docente: Gianni Vannini prof. ord.

**IL METODO SCIENTIFICO.** Scienza e conoscenza. Il significato delle misure. Le grandezze fisiche. Il metodo sperimentale. La costruzione delle teorie. Unità di misura e sistemi di unità. Gli errori di misura.

**LE GRANDEZZE VETTORIALI.** Vettori e scalari. Versori. Somma, differenza e scomposizione di vettori. Moltiplicazione di vettori. Rappresentazione cartesiana dei vettori. Vettori applicati. Momenti dei vettori. I vettori e le leggi fisiche.

**IL MOTO DEI CORPI DAL PUNTO DI VISTA CINEMATICO.** Lo spazio e il tempo. Il moto e i sistemi di riferimento. Concetto di punto materiale e le rappresentazioni del suo moto. Spostamento, velocità e accelerazione del punto materiale. Velocità e accelerazione areolari. Le componenti intrinseche dell'accelerazione.

- Il problema diretto e il problema inverso della cinematica. Studio di moti rettilinei. Il moto armonico semplice e smorzato. Composizione di moti armonici. Il teorema di Fourier e la scomposizione in moti armonici. Studio di moti piani in coordinate cartesiane e in coordinate polari.

- Definizione di sistema rigido. Moti di traslazione, di rotazione e di rototraslazione di un corpo rigido. Il moto relativo: velocità relativa e di trascinamento, accelerazioni relative, di trascinamento e di Coriolis.

**CENNI SULLE ONDE IN UNA DIMENSIONE.** Definizione di onda. Descrizione matematica di un'onda che si propaga in una dimensione. Il principio di sovrapposizione. Le onde armoniche. La somma di due onde armoniche e il fenomeno della interferenza. L'equazione generale delle onde.

**LA DINAMICA.** La ricerca delle cause che generano il moto dei corpi. Definizione di forza. Le forze fondamentali.

- L'assenza di forze e il principio di inerzia. L'inerzia, i sistemi inerziali e il primo principio della dinamica. La massa inerziale.

– Il secondo principio della dinamica. Il moto nei sistemi non inerziali e le forze di inerzia. Dinamica del punto materiale: quantità di moto e momento angolare; moti centrali; il pendolo matematico.

– Studio del moto dei sistemi di punti: il concetto di interazione; il terzo principio della dinamica nell'enunciazione di Newton. Enunciato conservativo del terzo principio della dinamica. Le interazioni fondamentali in natura.

– L'interazione gravitazionale: Newton e la prima unificazione delle forze; la massa gravitazionale e la massa inerziale. Il moto dei pianeti.

Cenni sulle interazioni elettromagnetica, debole e forte e sulla loro unificazione.

– Le equazioni cardinali della meccanica e le condizioni necessarie e sufficienti per descrivere il moto dei sistemi meccanici.

– Il centro di massa. I tre teoremi del centro di massa.

– La dinamica dei sistemi rigidi. Il momento di inerzia. Il teorema di Huyghens-Steiner. Moto di un corpo rigido con un asse fisso. Il pendolo fisico.

– Lavoro ed energia: il lavoro fatto da una forza su un punto materiale. La potenza. Il concetto di energia. Relazione fra lavoro e moto. Il teorema delle forze vive e l'energia cinetica per un punto materiale. Il gradiente di un campo scalare. Il rotore di un campo vettoriale. Il flusso di un campo vettoriale, il teorema di Gauss e la divergenza. I campi a rotore nullo e il potenziale di un campo. I campi di forze conservativi e l'energia potenziale. Il teorema della conservazione dell'energia meccanica. Il potenziale del campo di forze gravitazionale.

– Il lavoro per un sistema di punti. Espressione del lavoro per un sistema di punti rigido. Energia cinetica per sistemi di punti. Teorema di Koenig. Espressione dell'energia cinetica per un sistema rigido. L'energia potenziale per i sistemi di punti. Teorema della conservazione dell'energia per i sistemi. I sistemi di punti materiali in presenza di forze conservative e non conservative: il principio di conservazione dell'energia.

### Testi consigliati

S. FOCARDI, I. MASSA, A. UGUZZONI, *Fisica I* (volume primo), Pitagora Editrice.

RESNICK, HALLIDAY e KRANE, *Fisica*, Casa Ed. Ambrosiana.

SERWAY, *Fisica per scienze e Ingegneria*, SES.

A. BETTINI, *Meccanica e Termodinamica*, Decibel - Zanichelli.

D.C. GIANCOLI, *Fisica I*, Casa Ed. Ambrosiana.

M. ALONSO e E.J. FINN, *Elementi di Fisica per l'Università*, Vol. 1, Zanichelli.

P. VERONESI e E. FUSCHINI, *Fondamenti di meccanica classica*, Cooperativa Libreria Università, Bologna.

P. MAZZOLDI, M. NIGRO e C. VOCI, *Fisica*, SES.

G. BERNARDINI, *Fisica Sperimentale*, Veschi.

### FISICA GENERALE LA

BO, cds: M

CE, cds: dut, dul, dui, clb

Docente: **Antonio Vitale** prof. ord.

### Finalità dell'insegnamento

Maturazione di concetti basilari della Fisica Generale (con particolare riguardo alla Meccanica del punto) e loro trattazione col linguaggio dell'analisi matematica, del calcolo vettoriale e integrale. Acquisizione della metodologia scientifico - tecnica necessaria per affrontare in termini quantitativi i problemi di fisica.



**Programma****Elementi di calcolo vettoriale**

**Cinematica.** - Punto materiale e sistemi di riferimento. Vettore di posizione, velocità, e accelerazione. Moti rettilinei vari. Moto circolare uniforme. Moto armonico semplice e smorzato. Applicazioni alla cinematica dei sistemi di punti materiali: la formula fondamentale della cinematica del corpo rigido. Velocità angolare. Cinematica dei moti relativi: trasformazione di spostamenti, velocità e accelerazioni.

**Dinamica.** - Forze e reazioni vincolari, misura statica di una forza. Cenni di statica (equazioni cardinali, baricentro) e sui fenomeni di attrito.

Primo e secondo principio della dinamica. Massa inerziale. Impulso e quantità di moto. Legge di Newton sulla gravitazione universale. Il problema fondamentale della dinamica. Sistemi isolati. Il terzo principio della dinamica. Applicazioni alla dinamica dei sistemi di punti materiali: conservazione della quantità di moto e del momento della quantità di moto. Problemi d'urto. Le equazioni cardinali della dinamica. Centro di massa e sue proprietà. Momenti d'inerzia. Teorema di Huygens-Steiner. Inerzia di rotazione.

**Lavoro ed energia.** - Lavoro di una forza e di sistemi di forze. Il teorema delle forze vive. Il Teorema di Koenig. Proprietà dell'energia cinetica. Lavoro compiuto dalla forza peso. Forze posizionali e conservative. Condizioni perché un campo di forza sia conservativo. Potenziali ed energie potenziali. Conservazione dell'energia meccanica. I diversi tipi di equilibrio.

**Ulteriori informazioni**

L'insegnamento presuppone acquisiti da parte dello studente gli elementi basilari della trigonometria, della geometria elementare e dell'analisi matematica (quali i processi di derivazione, di integrazione e di limite di funzioni di una o più variabili).

Una parte delle lezioni è dedicata alla discussione di quesiti e esercizi di meccanica.

L'esame consiste in una prova scritta e in una successiva prova orale.

**Testi consigliati**

A. BERTIN, M. POLI, A. VITALE, *Fondamenti di Meccanica*, Esculapio Editore (Progetto Leonardo), Bologna.

A. BERTIN, S. DE CASTRO, N. SEMPRINI CESARI, A. VITALE, A. ZOCCOLI, *Problemi d'esame di Fisica Generale*, Esculapio Editore (Progetto Leonardo), Bologna.

**FISICA GENERALE LA****BO, cds: T**

Docente: Nicola Semprini Cesari prof. ass.

**Elementi di Algebra Vettoriale.** Grandezze scalari e vettoriali. Definizione geometrica di vettore. Definizione geometrica delle operazioni di somma di vettori, differenza di vettori, moltiplicazione di un vettore per uno scalare, prodotto scalare, prodotto vettoriale. Terne cartesiane ortogonali, versori cartesiani, rappresentazione cartesiana dei vettori. Le operazioni tra vettori nella rappresentazione cartesiana. Terne ortogonali locali, coordinate cilindriche.

**Cinematica.** Il punto materiale, la posizione ed il moto, sistemi di riferimento. Le unità di misura di spazio e tempo. Dimensione di una grandezza fisica, dimensioni fondamentali e derivate, sistema di unità di misura, i sistemi CGS ed MKS. La descrizione del moto, equazione vettoriale del moto, la separazione della equazione vettoriale in traiettoria e legge oraria, la descrizione intrinseca del moto. Definizione della velocità, unità di misura, rappresentazione nel siste-

ma intrinseco, in coordinate cartesiane e cilindriche. Definizione della accelerazione, unità di misura, rappresentazione nel sistema intrinseco, in coordinate cartesiane e cilindriche. Moto rettilineo uniforme, rettilineo uniformemente accelerato, circolare uniforme. Cambiamento del riferimento, trasformazione della posizione, relazioni di Poisson, trasformazione della velocità, trasformazione della accelerazione.

**La Forza Statica.** La definizione operativa di forza, il dinamometro, la taratura del dinamometro, unità di misura della forza. Equilibrio del punto materiale, principio della statica del punto materiale, lo studio statico delle forze.

**Dinamica del Punto Materiale.** La estensione del principio della statica del punto materiale, il primo principio della dinamica, il secondo principio della dinamica, la massa inerziale, unità di misura della massa inerziale. Definizione dell'impulso e dell'impulso della forza, teorema dell'impulso. Definizione del momento di un vettore, teorema del momento della forza. Lo studio dinamico delle forze. Le forze inerziali, definizione operativa di sistema di riferimento inerziale. La forza di gravità, costante di gravitazione universale, il moto planetario e le leggi di Keplero, la forza peso, la accelerazione di gravità. Il problema fondamentale della dinamica. Punto materiale vincolato, vincoli unilaterali e bilaterali, reazione vincolare e forza di attrito. La espressione delle forze inerziali. Il riferimento terrestre, deviazione della verticale locale, deviazione della caduta dei gravi. Il principio di relatività ristretta, invarianza dei principi della dinamica.

**Lavoro ed Energia.** Definizione del lavoro elementare di una forza, lavoro lungo un cammino finito, unità di misura del lavoro. Teorema delle forze vive, energia cinetica. Potenza di una forza, unità di misura. Definizione di forza conservativa, il potenziale della forza, relazione tra forza e potenziale, condizioni per la esistenza del potenziale. La conservazione della energia meccanica. Calcolo di alcuni potenziali, la forza peso, la forza di gravità, la forza elastica, la forza centrifuga.

**Dinamica dei sistemi di punti materiali.** Inadeguatezza della forza esterna, esame diretto di alcuni casi, il principio di azione e reazione, sistema di punti materiali, forze interne ed esterne al sistema, formulazione generale del principio di azione e reazione. Le equazioni cardinali della dinamica dei sistemi di punti materiali. Sistemi isolati, leggi di conservazione. Il centro di massa del sistema, impulso del sistema, espressione della prima equazione cardinale, espressione della seconda equazione cardinale nel sistema del centro di massa. Corpo rigido, momento angolare assiale del corpo rigido, momento di inerzia, calcolo del momento di inerzia, la seconda equazione cardinale per il corpo rigido rotante con asse fisso. Lavoro delle forze sul corpo rigido, espressione nel caso di un asse fisso, il potenziale della forza peso agente sul corpo rigido.

## FISICA GENERALE LA

BO, cds: I (L-Z)

Docente: Ettore Verondini prof. ord.

### 1. Calcolo vettoriale

Definizioni. Operazioni con vettori. Sistemi di riferimento. Rappresentazione cartesiana. Vettori applicati. Campi vettoriale.

### 2. Cinematica

Punto materiale. Vettore posizione. Rappresentazioni del moto. Velocità e accelerazione. Problemi di cinematica del punto. Moti unidimensionali e bidimensionali. Cenni di cinematica dei corpi rigidi.

**3. Dinamica**

Concetto di forza. Misura statica delle forze. Natura vettoriale delle forze. Principio di inerzia. Secondo principio della dinamica. Problemi di dinamica del punto materiale. Il terzo principio della dinamica. Equazioni cardinali. Cenni alla dinamica dei sistemi rigidi: centro di massa; moto rotatorio assiale di un corpo rigido.

**4. Lavoro ed energia**

Concetto di lavoro. Teorema delle forze vive. Energia cinetica. Campi conservativi. Conservazione dell'energia meccanica. Cenni al sistema di due corpi: problemi d'urto.

**5. Forze Inerziali**

Il secondo principio della dinamica nei riferimenti non inerziali. Forze di trascinamento e di Coriolis. Il riferimento terrestre.

*I seguenti libri contengono gli argomenti svolti nel corso:*

- M. ALONSO e E.J. FINN: *Elementi di Fisica per l'Università*, vol.1, Masson-Addison Wesley, Milano.
- D. BLUM e D.E. ROLLER: *Fisica*, vol. 1, Zanichelli, Bologna.
- R.A. SERWAY: *Fisica per scienze e ingegneria*, vol. 1, Società Editrice Scientifica, Napoli.
- P.A. TIPLER: *Fisica*, vol. 1, Zanichelli, Bologna.
- P. VERONESI e E. FUSCHINI: *Fondamenti di meccanica classica*, CLUEB, Bologna.
- A. BERTIN, M. POLI e A. VITALE: *Fondamenti di meccanica*, Ed. Progetto Leonardo, Bologna (Società editrice Esculapio).
- S. FOCARDI, I.G. MASSA, A. UGUZZONI: *Fisica generale*, Casa Editrice Ambrosiana.

**Testi di Esercizi e Problemi**

- M. BRUNO, M. D'AGOSTINO, M.L. FIANDRI: *Esercizi di Fisica I*, CLUEB, Bologna.
- S. FOCARDI: *Problemi di Fisica Generale*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano.

**FISICA GENERALE LA**

BO, cds: L

Docente: **Arnaldo Uguzzoni** prof. ord.

**1) Introduzione alla Fisica.**

Il metodo scientifico, definizione operativa delle grandezze fisiche. Concetti di spazio e tempo. Sistemi di riferimento.

**2) Elementi di calcolo vettoriale.**

Definizione di vettore. Operazioni con vettori: somma, differenza, prodotti scalare, vettoriale e misto. I versori. Rappresentazione cartesiana dei vettori e leggi di trasformazione. Derivazione di vettori. La derivata di un versore. Integrazione di vettori. Vettori applicati. Momento di un vettore rispetto ad un punto.

**3) Cinematica**

Punto materiale. Posizione e sistema di riferimento: coordinate cartesiane, coordinate polari. Il moto del punto materiale: continuità del moto e traiettoria; equazioni parametriche della traiettoria, equazione oraria. Velocità vettoriale media e velocità istantanea. Accelerazione vettoriale. Componenti cartesiane, polari e intrinseche di velocità e accelerazione. Problemi di cinematica

del punto: problema diretto e problema inverso. Moti rettilinei e piani. Il moto armonico, il moto circolare, il moto parabolico dei proiettili. Moti centrali. Cenni di cinematica dei corpi rigidi. La relatività del moto: sistemi di riferimento in moto relativo; leggi di trasformazione delle velocità e delle accelerazioni.

#### 4) Dinamica del punto materiale.

Concetto di forza. Forza peso. Misura statica delle forze. Natura vettoriale delle forze. Principio di inerzia. Sistemi di riferimento inerziali. Forza ed accelerazione. Massa inerziale e massa gravitazionale. Secondo principio della dinamica. Misura dinamica di forze. Le leggi delle forze: cenni alle interazioni fondamentali. Forze elastiche. Forze di attrito. Reazioni vincolari. Le forze newtoniane: principio di azione e reazione. Applicazioni dei principi della dinamica. Quantità di moto e momento angolare; impulso di una forza, suo momento e relativi teoremi. Il pendolo semplice. L'oscillatore armonico. Principio di relatività: leggi della meccanica newtoniana e trasformazioni di Galileo. Elementi di dinamica nei riferimenti non inerziali; forze inerziali: di trascinamento, centrifughe e di Coriolis. Lavoro di una forza. Energia cinetica di un punto materiale. Il teorema delle forze vive. Campi di forze conservativi: energia potenziale e conservazione dell'energia meccanica. Minimi dell'energia potenziale e stabilità dell'equilibrio (cenni). Forze non conservative ed energia meccanica. Leggi di Keplero e legge della gravitazione universale. Orbite circolari di pianeti e satelliti. Il problema dei due corpi. Moto in campi centrali: conservazione dell'energia e del momento angolare; potenziale efficace e caratteristiche del moto.

#### 5) Elementi di dinamica dei sistemi di punti materiali.

Centro di massa e sue proprietà. Equazioni cardinali della dinamica dei sistemi. Terzo principio della dinamica e conservazione della quantità di moto totale e del momento angolare totale di un sistema isolato. Lavoro ed energia: energia cinetica, energia propria ed energia interna. Forze conservative ed energia meccanica dei sistemi. Teoremi di Koenig per l'energia cinetica. Il principio di conservazione dell'energia. Urti fra punti materiali e leggi di conservazione.

#### Testi consigliati:

Tutti gli argomenti del programma sono completamente trattati nel testo:

FOCARDI, MASSA, UGUZZONI, *Fisica Generale: Meccanica e Termodinamica* (CEA).

### FISICA GENERALE LB

Docente: Ignazio G. Massa prof. ord.

BO, cds: L

Atomi e molecole. Il campo elettrostatico nel vuoto. Legge di Coulomb. Conservazione e quantizzazione della carica. Dipolo e momento di dipolo elettrico. Calcolo di campi elettrostatici. Potenziale elettrostatico. Legge di Gauss. Potenziale del dipolo elettrico. Sviluppo in multipoli. Conduttori in equilibrio elettrostatico. Capacità. Connessioni di condensatori in serie e in parallelo. Schermo elettrostatico. Energia e densità di energia. Dielettrici e costante dielettrica relativa. Brevi elementi di elettrostatica nella materia. Correnti elettriche. Legge di Ohm: resistenza e resistività. Forze dissipative ed effetto Joule. Generatori di forza elettromotrice. Connessioni di resistenze in serie e in parallelo. Campo magnetico statico nel vuoto. Forza di Lorentz. Seconda legge di Laplace. Moto di particelle cariche in campi magnetici. Spira percorsa da corrente e momento di dipolo magnetico. Legge di Biot e Savart. Legge della circuitazione di Ampère. Calcoli di semplici campi di induzione magnetica. Brevi elementi di magnetismo nella materia. Forza elettromotrice indotta e leggi di Faraday e di Lenz. Induttanza. Energia del campo magnetico. Circuiti LR, LC, LCR. Corrente di spostamento. Equazioni di Maxwell.

**FISICA GENERALE LB****BO, cds: R, Q**Docente: **Antonio Zoccoli**, prof. ass.Finalità dell'insegnamento

Maturazione di concetti basilari dell'Elettromagnetismo (con particolare riguardo alle leggi dell'elettromagnetismo nel vuoto) e loro trattazione col linguaggio dell'analisi matematica, del calcolo vettoriale e integrale. Acquisizione della metodologia scientifico - tecnica necessaria per affrontare in termini quantitativi i problemi di fisica.

ProgrammaElettricità.

La legge di Coulomb. Definizione di campo elettrico e suoi aspetti vettoriali: linee di forza, sorgenti del campo, legge di Gauss in forma differenziale. Il campo elettrico come campo conservativo: il potenziale elettrostatico, la circuitazione e il rotore. Densità di energia elettrostatica associata al campo elettrico.

Legge di Coulomb, campo e potenziale elettrico, legge di Gauss per il campo elettrico. Teorema della divergenza e teorema di Stokes. Cariche soggette a campi elettrici. Densità di energia. Dipolo e momento di dipolo elettrico.

Induzione elettrostatica. Capacità. Resistenza e corrente elettrica. Equazione di continuità della corrente elettrica. Elementi di circuiti elettrici e legge di Ohm. Aspetti energetici dell'elettricità statica e dinamica.

Magnetismo.

Il vettore induzione magnetica. La forza di Lorentz. La legge di Gauss per il campo induzione magnetica. Dipolo e momento di dipolo magnetico. La prima e la seconda legge di Laplace. La legge di Ampère e la corrente concatenata. Il solenoide. L'induzione magnetica e la legge di Faraday-Neumann. L'autoinduzione. Il caso quasistazionario. La corrente di spostamento.

Elettromagnetismo.

Le equazioni di Maxwell. Cenni sulle onde elettromagnetiche e sugli aspetti energetici del campo elettromagnetico. Il vettore di Poynting.

Ulteriori informazioni

L'insegnamento presuppone familiarità con gli elementi basilari della trigonometria, della geometria elementare, dell'analisi matematica e dell'algebra vettoriale, nonché tematiche e concetti fisici già acquisiti in un corso universitario di Meccanica.

Una parte delle lezioni è dedicata alla discussione di quesiti e esercizi di elettromagnetismo. L'esame consiste in una prova scritta e in una eventuale successiva prova orale.

Testi consigliatiC. MENCUCINI, V. SILVESTRINI, *Fisica II*, Editore Liguori.P. MAZZOLDI, M. NIGRO, C. VOCI, *Fisica II*, Editore SES.D. HALLIDAY, R. RESNICK, *Fisica II*, Casa editrice Amborsiana.

**Introduzione.**

Interazioni e forze. Il concetto di campo. Cenni di calcolo vettoriale: Gradiente, Integrali curvilinei, di superficie e di volume, Rotore e teorema di Stokes, Divergenza e teorema di Gauss, sorgenti e vortici di un campo, teorema di Helmholtz. La funzione delta di Dirac.

**Il Campo Elettrostatico nel vuoto.**

La carica elettrica. La legge di Coulomb. Principio di sovrapposizione. Il campo elettrostatico nel vuoto. Divergenza e rotore del campo elettrostatico. Il teorema di Gauss e il teorema di Stokes. Il potenziale elettrostatico. Equazioni di Poisson e di Laplace. Espansione del potenziale elettrostatico in serie di multipoli. L'energia elettrostatica.

**Il Campo elettrostatico nella materia.**

Definizione di conduttori e isolanti. I conduttori nel campo elettrostatico. La forza sulla carica superficiale e la pressione elettrostatica. La capacità elettrica e i condensatori. Il problema generale dell'elettrostatica in presenza di conduttori: studio dell'equazione di Laplace. Il metodo delle immagini. I dielettrici. I dipoli atomici e molecolari indotti e permanenti. La polarizzazione elettrica. Il campo di un dielettrico polarizzato. Le cariche di polarizzazione. Il campo di induzione elettrica **D**. Le sorgenti e i vortici di **D**. Suscettività elettrica, permittività e costante dielettrica. Dielettrici lineari. Discontinuità dei campi **E** e **D**. Energia elettrostatica in sistemi dielettrici.

**La corrente elettrica stazionaria.**

Cariche in moto e corrente elettrica. La densità di corrente. La conservazione della carica e l'equazione di continuità generale. I conduttori ohmici. La forza elettromotrice. L'effetto Joule. Reti di conduttori.

**Il campo magnetico stazionario.**

La legge di Biot-Savard. Il campo magnetico **B** nel vuoto. Sorgenti e vortici del campo magnetico **B**: divergenza e rotore di **B**. La legge di Ampere. Il potenziale vettore **A**. Le condizioni al contorno della magnetostatica. Espansione in serie di multipoli del potenziale vettore. Il campo **B** nella materia. I dipoli magnetici e la Magnetizzazione. Il campo di un oggetto magnetizzato. Le correnti di magnetizzazione. Il campo vettoriale **H**. Le sorgenti e i vortici di **H**. Diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo. Mezzi lineari e non lineari. Suscettività e permeabilità magnetiche. Discontinuità dei campi **B** e **H**.

**Il campo elettromagnetico in condizioni non stazionarie.**

I generatori di forza elettromotrice. La forza elettromotrice indotta. La legge di Faraday e la legge di Lenz. La mutua induzione e l'autoinduzione. I circuiti a corrente variabile. L'energia magnetica.

**Le equazioni di Maxwell.**

La corrente di spostamento e le simmetrie delle equazioni dell'elettromagnetismo. Le equazioni di Maxwell. Il problema dei monopoli magnetici. Le equazioni di Maxwell nella materia. Le condizioni al contorno dei campi **E**, **B**, **D**, **H**. Formulazione dell'elettrodinamica in termini dei potenziali. Le trasformazioni di Gauge. Il Gauge di Coulomb e il gauge di Lorentz. La forza di Lorentz in termini di potenziali. La conservazione dell'energia e il teorema di Poynting. La con-

servazione della quantità di moto e del momento angolare. Il tensore degli sforzi di Maxwell. Le soluzioni delle equazioni di Maxwell nel vuoto e in assenza di cariche e correnti.

### *Testi consigliati.*

Gli argomenti svolti nel corso sono trattati in modo più che sufficiente nella maggior parte dei testi Universitari di Fisica II. Se ne elencano qui alcuni:

C. MORONI, *Lezioni di Elettromagnetismo e Ottica*, Ed. Pitagora.

L. LOVITCH-S. ROSATI, *Fisica Generale vol. 2*, Ed. CEA Milano.

RESNIK-HOLLIDAY-KRANE, *Fisica 2*, Ed. Ambrosiana.

C. MENCUCCINI-A. SILVESTRINI, *Fisica II*, Ed. Liguori.

M. ALONSO - E.J. FINN, *Elementi di Fisica per l'Università vol. 2*, Ed. Addison- Wesley.

A.BETTINI, *Elettromagnetismo*, Decibel, Zanichelli.

## **FISICA GENERALE LB**

**BO, cds: M**

**CE, cds: dut, dul, dui, clb**

Docente: **Antonio Vitale** prof. ord

### Finalità dell'insegnamento

Maturazione di concetti basilari della Fisica Generale (con particolare riguardo ai Principi della Termodinamica ed alle leggi dell'elettromagnetismo nel vuoto) e loro trattazione col linguaggio dell'analisi matematica, del calcolo vettoriale e integrale. Acquisizione della metodologia scientifico - tecnica necessaria per affrontare in termini quantitativi i problemi di fisica.

### Programma di Termodinamica

**Sistemi termodinamici e loro trasformazioni.** - Il Principio zero della termodinamica. Temperatura e termometri. Trasformazioni termodinamiche e cambiamenti di stato.

**Il primo principio della termodinamica.** - Lavoro adiabatico, energia interna e primo principio della termodinamica. Quantità di calore e conservazione dell'energia in senso generalizzato. Capacità termica, calori molari, specifici e latenti. I gas perfetti: energia interna, equazioni di Poisson.

**Il secondo principio della termodinamica.** - Reversibilità e irreversibilità. Macchine termiche cicliche e loro rendimento. Il secondo principio della termodinamica. Ciclo e Teorema di Carnot. Scala termodinamica assoluta delle temperature. Teorema di Clausius e funzione di stato Entropia. Legge di accrescimento dell'entropia.

### Programma di Elettromagnetismo

**Elettricità.** - Legge di Coulomb, campo e potenziale elettrico, legge di Gauss per il campo elettrico. Teorema della divergenza e teorema di Stokes. Cariche soggette a campi elettrici. Capacità. Resistenza e corrente elettrica. Equazione di continuità della corrente elettrica. Aspetti energetici dell'elettricità statica e dinamica.

**Magnetismo.** - Forze magnetiche e loro proprietà. Prima e seconda equazione di Laplace. Legge di Gauss per il campo magnetico. Legge di Ampère-Maxwell. Legge di Faraday-Lenz. Densità di energia associata al campo magnetico.

**Elettromagnetismo.** - Le equazioni di Maxwell. Cenni sulle onde elettromagnetiche e sugli aspetti energetici del campo elettromagnetico. Il vettore di Poynting.

*Ulteriori informazioni*

L'insegnamento presuppone familiarità con gli elementi basilari della trigonometria, della geometria elementare, dell'analisi matematica e dell'algebra vettoriale, nonché tematiche e concetti fisici già acquisiti in un corso universitario di Meccanica.

Una parte delle lezioni è dedicata alla discussione di quesiti e esercizi di termodinamica e di elettromagnetismo. L'esame consiste in una prova scritta e in una successiva prova orale.

*Testi consigliati*

A. BERTIN, M. POLI, A. VITALE, *Fondamenti di termodinamica*, Esculapio Editore (Progetto Leonardo), Bologna.

A. BERTIN, S. DE CASTRO, N. SEMPRINI CESARI, A. VITALE, A. ZOCCOLI, *Problemi d'esame di Fisica Generale*, Esculapio Editore (Progetto Leonardo), Bologna.

**FISICA GENERALE LB**

BO, cds: T

Docente: Nicola Semprini Cesari prof. ass.

**Richiami di Calcolo Vettoriale.** Definizione di vettore, vettori applicati e liberi, operazioni algebriche con vettori, rappresentazione cartesiana dei vettori, operazioni algebriche con vettori nella rappresentazione cartesiana. Campi vettoriali; esempi di campi vettoriali, integrazione di campi vettoriali, integrali di linea e di superficie, teoremi della divergenza e del rotore.

**Forza tra Cariche Elettriche in Quietè Relativa.** La esistenza di forze elettrostatiche; le cariche puntiformi; il segno algebrico delle cariche; la uguaglianza tra cariche elettriche; dipendenza della forza dalla carica elettrica e dalla distanza; la scelta della costante di proporzionalità; la legge di Coulomb. Natura della carica elettrica. Il principio di sovrapposizione; descrizione di corpi elettricamente carichi non puntiformi: densità lineare, superficiale e volumetrica di carica. Il campo elettrostatico; significato fisico della espressione di una legge di forza attraverso il campo, il principio di sovrapposizione, estensione al caso di cariche non puntiformi. Le equazioni del campo elettrostatico; forma integrale delle leggi: legge del flusso e della circuitazione, forma locale delle leggi: legge della divergenza e del rotore. Il potenziale elettrostatico; estensione al caso di cariche non puntiformi.

**Forza tra Cariche Elettriche in Moto Relativo.** La incompletezza della legge di Coulomb, espressione della forza tra cariche elettriche in moto relativo, la forza magnetica e le sue principali proprietà, la forza di Lorentz. Il principio di sovrapposizione; descrizione di sistemi di cariche non puntiformi in moto, il vettore densità di corrente. La legge di conservazione della carica elettrica in forma integrale e locale. Il campo magnetico. Espressione dell'elemento di forza magnetica e di campo magnetico nel caso di cariche non puntiformi; il caso dei circuiti filiformi; leggi di Laplace, la forza magnetica tra fili paralleli indefiniti percorsi da corrente, la definizione operativa di Ampere. Le equazioni del campo magnetico; forma integrale delle leggi: legge del flusso e della circuitazione, la corrente di spostamento, forma locale delle leggi: legge della divergenza e del rotore.

**La legge di Faraday.** Il principio di relatività, la modifica della espressione del campo elettrostatico, la legge di Faraday in forma integrale e locale.

**Le equazioni di Maxwell.** Il quadro generale delle equazioni per la elettricità ed il magnetismo; il teorema di Poynting, espressione della densità volumetrica di energia elettromagnetica e della densità superficiale di potenza elettromagnetica. Densità volumetrica di impulso elettromagnetico.



**Conduttori.** Cenni sulla struttura dell'atomo; il legame ionico, covalente e metallico; conduttori ed isolanti; i conduttori metallici. Conduttore neutro immerso nel campo elettrostatico; la legge di Ohm, la resistività; la relazione tra campo elettrico e densità di corrente per i conduttori metallici. Conduttori all'equilibrio: campo elettrostatico nei punti interni, sulla superficie ed in prossimità della superficie; equazione di Coulomb; distribuzione della carica elettrica nei conduttori all'equilibrio; il conduttore cavo; lo schermo elettrostatico; conduttore carico; proprietà delle punte. Coppie di conduttori: induzione incompleta e completa; condensatori; capacità dei condensatori; condensatori piani, sferici e cilindrici.

**Circuiti elettrici.** Il generatore di tensione; la resistenza, legge di Ohm, effetto joule, resistenze in serie e parallelo; il condensatore, condensatori in serie e parallelo; la induttanza. L'applicazione delle equazioni di Maxwell ai circuiti elettrici: circuiti R, RC, RLC. Trasporto dell'energia nei circuiti elettrici.

## FISICA GENERALE LB

BO, cds: I (L-Z)

Docente: **Ettore Verondini** prof. ord.

### 1. Campo elettrostatico nel vuoto

Carica elettrica e legge di Coulomb. Campo elettrico di una distribuzione di carica. Principio di sovrapposizione. Carica elementare. Equazioni del campo coulombiano in forma integrale. Potenziale elettrostatico. Dipolo elettrico. Teorema di Gauss. Energia elettrostatica di un sistema di cariche. Capacità. Condensatori. Cenni ai dielettrici.

### 2. La corrente elettrica stazionaria

Principio di conservazione della carica elettrica. Legge di Ohm. Conduttori Ohmici. Reti di conduttori percorsi da corrente stazionaria. Leggi di Kirchoff. Effetto Joule.

### 3. Il campo magnetico

Moto di una particella carica in un campo magnetico. Forza esercitata dal campo magnetico su una corrente elettrica. Campo di una carica puntiforme in moto. Legge di Biot e Savart. Interazioni fra correnti. Forma integrale delle leggi del campo magnetico. Cenni ai materiali magnetici.

### 4. Elettrodinamica

La corrente di spostamento. Induzione elettromagnetica. Legge di Lenz. Induttanza.

### 5. Energia e onde

Energia in un campo elettromagnetico. Energia del campo elettrico. Energia del campo magnetico. Le onde elettromagnetiche.

*I seguenti libri contengono gli argomenti svolti nel corso:*

A.BETTINI: *Elettromagnetismo*, Ed. Decibel-Zanichelli.

C.MENCUCCINI, A.SILVESTRINI: *Fisica II*, Ed. Liguori.

C.MORONI: *Lezioni di Elettromagnetismo ed Ottica*, Ed. Pitagora.

E.AMALDI, R.BIZZARRI, G.PIZZELLA: *Fisica generale*, Ed. Zanichelli.

M.ALONSO, E.J.FINN: *Elementi di Fisica per l'Università*, Ed. Addison-Wesley.

**FISICA GENERALE LB**

BO, cds: G\_BO (A-K), P (A-K)

Docente: Antonio Bertin prof. ord

Finalità dell'insegnamento

Maturazione di concetti basilari della Fisica Generale (con particolare riguardo ai Principi della Termodinamica ed alle leggi dell'elettromagnetismo nel vuoto) e loro trattazione col linguaggio dell'analisi matematica, del calcolo vettoriale e integrale. Acquisizione della metodologia scientifico-tecnica necessaria per affrontare in termini quantitativi i problemi di fisica.

Programma di Termodinamica

Sistemi termodinamici e loro trasformazioni. - Il Principio zero della termodinamica. Temperatura e termometri. Trasformazioni termodinamiche e cambiamenti di stato.

Il primo principio della termodinamica. - Lavoro adiabatico, energia interna e primo principio della termodinamica. Quantità di calore e conservazione dell'energia in senso generalizzato. Capacità termica, calori molari, specifici e latenti. I gas perfetti: energia interna, equazioni di Poisson.

Il secondo principio della termodinamica. - Reversibilità e irreversibilità. Macchine termiche cicliche e loro rendimento. Il secondo principio della termodinamica. Ciclo e Teorema di Carnot. Scala termodinamica assoluta delle temperature. Teorema di Clausius e funzione di stato Entropia. Legge di accrescimento dell'entropia.

Programma di Elettromagnetismo

Elettricità. - Legge di Coulomb, campo e potenziale elettrico, legge di Gauss per il campo elettrico. Teorema della divergenza e teorema di Stokes. Cariche soggette a campi elettrici. Capacità. Resistenza e corrente elettrica. Equazione di continuità della corrente elettrica. Aspetti energetici dell'elettricità statica e dinamica.

Magnetismo. - Forze magnetiche e loro proprietà. Prima e seconda equazione di Laplace. Legge di Gauss per il campo magnetico. Legge di Ampère-Maxwell. Legge di Faraday-Lenz. Densità di energia associata al campo magnetico.

Elettromagnetismo. - Le equazioni di Maxwell. Cenni sulle onde elettromagnetiche e sugli aspetti energetici del campo elettromagnetico. Il vettore di Poynting.

Ulteriori informazioni

L'insegnamento presuppone familiarità con gli elementi basilari della trigonometria, della geometria elementare, dell'analisi matematica e dell'algebra vettoriale, nonché tematiche e concetti fisici già acquisiti in un corso universitario di Meccanica.

Una parte delle lezioni è dedicata alla discussione di quesiti e esercizi di termodinamica e di elettromagnetismo. L'esame consiste in una prova scritta e in una successiva prova orale.

Testi consigliati

A. BERTIN, M. POLI, A. VITALE, *Fondamenti di termodinamica*, Esculapio Editore (Progetto Leonardo), Bologna.

A. BERTIN, S. DE CASTRO, N. SEMPRINI CESARI, A. VITALE, A. ZOCOLI, *Problemi d'esame di Fisica Generale*, Esculapio Editore (Progetto Leonardo), Bologna.

**FISICA GENERALE LC****BO, cds: T**Docente: **Franco Malaguti prof. straordinario.****Termodinamica**

La descrizione termodinamica dei sistemi: le coordinate termodinamiche. Equilibrio termico e principio zero della termodinamica: la temperatura, definizione operativa e misura. I termometri; temperatura del termometro a gas ideale. Stati di equilibrio termodinamico ed equazioni di stato. I sistemi PVT. Leggi sperimentali per i gas: l'equazione di stato dei gas ideali e dei gas reali. Elementi di teoria cinetica dei gas: interpretazione microscopica della pressione e della temperatura. Lavoro termodinamico. Trasformazioni quasi statiche e lavoro. Diagrammi pV. Lavoro e calore. Lavoro adiabatico ed energia interna. La conservazione dell'energia e il primo principio della termodinamica. Capacità termiche e calori specifici. I serbatoi di calore. Energia interna e dipendenza dalle coordinate termodinamiche; esperienza di Joule ed energia interna dei gas ideali. I calori specifici dei gas ideali. La relazione di Mayer. Trasformazioni quasi statiche dei gas ideali: le leggi di Poisson per le trasformazioni adiabatiche. Il ciclo di Carnot. Conversione di calore in lavoro e viceversa. Le macchine termiche. Il secondo principio della termodinamica: enunciato di Kelvin. Le macchine frigorifere. Enunciato di Clausius. Equivalenza degli enunciati del secondo principio. Trasformazioni reversibili ed irreversibili. Il teorema di Carnot e corollari. La temperatura termodinamica assoluta. Teorema di Clausius. Concetto di entropia. Entropia di un gas ideale. Diagrammi TS. Entropia, reversibilità e irreversibilità. Principio dell'aumento dell'entropia. Entropia ed energia inutilizzabile. Cenni all'interpretazione statistica dell'entropia.

**Fenomeni ondulatori.**

Oscillazioni armoniche libere. Oscillazioni smorzate. Oscillazioni forzate: ampiezza elastica e di assorbimento. Condizioni di risonanza. Propagazione per onde di perturbazioni fisiche. Onde elastiche nei fluidi e nei solidi. Onde progressive unidimensionali ed equazione di D'Alembert. Le onde trasversali su una corda. Energia trasportata da onde progressive. Riflessione e trasmissione. Onde monocromatiche e loro rappresentazione complessa. Sovrapposizione di onde. Battimenti e cenni ai pacchetti d'onde. Velocità di fase e velocità di gruppo. Onde stazionarie e modi di vibrazione di una corda. Cenni alle onde sonore. Onde nello spazio. Onde piane ed onde sferiche. Equazioni di Maxwell nel vuoto ed onde elettromagnetiche. Velocità di propagazione delle onde e velocità della luce. Carattere trasversale delle onde elettromagnetiche e relazioni fra i campi. Energia ed impulso trasportati dalle onde elettromagnetiche: il vettore di Poynting. Le cariche accelerate come sorgenti di onde elettromagnetiche. Irraggiamento da cariche oscillanti. Spettro delle onde elettromagnetiche e luce. Oscillatori nella materia: un modello classico per l'emissione della radiazione elettromagnetica e la sua interazione con la materia. Diffusione ed assorbimento della luce: la legge del cielo blu. Campi elettromagnetici nei dielettrici. Campi variabili nel tempo e polarizzabilità dinamica. Modello ad oscillatori e costante dielettrica complessa. Onde monocromatiche e indice di rifrazione complesso: dispersione e assorbimento. Onde luminose e raggi. Propagazione della luce in mezzi trasparenti. Riflessione e rifrazione all'interfaccia fra due mezzi. Condizioni di raccordo per i campi e leggi di Snell. Coefficienti di riflessione e di trasmissione nel caso di incidenza normale. Riflessione totale. Interferenza di onde. Condizioni di coerenza. Fenomeni di interferenza per la luce. Esperienza di Young. Interferenza con lamine sottili. Interferenza con N sorgenti coerenti. Fenomeni di diffrazione e principio di Huyghens-Fresnel. Diffrazione da una fenditura. Il reticolo di diffrazione. Diffrazione da aperture ed ostacoli. Oscillatori reali e principio di Huyghens. L'approssimazione dell'ottica geometrica.

Gli argomenti di Termodinamica sono completamente trattati nel testo

FOCARDI, MASSA, UGUZZONI: *Fisica generale: Meccanica e Termodinamica* (CEA) (\*)

Per gli argomenti della seconda parte del corso si segnalano:

BETTINI: *Le onde e la luce* (Decibel-Zanichelli).

MENCUCCINI-SILVESTRINI: *Fisica II* (Liguori).

### **FISICA GENERALE LC**

**BO, cds: L, I**

Docente: **Ignazio G. Massa** prof. ord.

Metodo statistico. Coordinate macroscopiche. Sistemi idrostatici. Equilibri termico e termodinamico. Temperatura. Equazioni di stato. Lavoro termodinamico. Trasformazioni quasi statiche e reversibili. Gas reali e ideali. Energia. I° Principio. Calore. Capacità termica. Trasformazioni quasi statiche di un gas ideale.

Conversione di lavoro in calore e viceversa. Serbatoi. Macchine termiche e frigorifere. Enunciati di Kelvin e di Clausius; equivalenza. Ciclo e Teorema di Carnot. Temperatura assoluta. Teorema di Clausius. Entropia. Entropia, reversibilità e irreversibilità. Energia degradata. Elementi per una interpretazione microscopica.

Oscillazioni armoniche libere, smorzate e forzate. Risonanza. Propagazione per onde di perturbazioni fisiche. Onde elastiche nei fluidi e nei solidi. Equazione di D'Alembert. Energia, riflessione e trasmissione. Sovrapposizione di onde. Battimenti. Velocità di fase e di gruppo. Onde stazionarie. Onde piane e sferiche. Onde elettromagnetiche. Carattere trasversale delle onde elettromagnetiche. Energia e impulso: vettore di Poynting. Cariche accelerate. Irraggiamento da cariche oscillanti. Spettro delle onde elettromagnetiche e luce. Diffusione e assorbimento della luce. Campi elettromagnetici nei dielettrici. Dispersione e assorbimento. Propagazione della luce in mezzi trasparenti. Riflessione e rifrazione. Interferenza di onde e coerenza. Diffrazione e Principio di Huygens. Polarizzazione.

### **FISICA GENERALE LD**

**BO, cds: T, L, I**

Docente: **Arnaldo Uguzzoni** prof. ord.

Elementi di fisica statistica classica. La legge di distribuzione di Boltzmann. Equipartizione dell'energia. Calori specifici e radiazione di corpo nero: primi problemi per la fisica classica. Effetto fotoelettrico, effetto Compton: i fotoni. Interferenza della luce e fotoni. Interferenza e diffrazione di elettroni. Analisi della dualità onda corpuscolo e sua interpretazione statistica. Funzioni d'onda e ampiezze di probabilità. Il principio di sovrapposizione degli stati. Pacchetti d'onda e relazioni di Heisenberg. Elementi del formalismo della meccanica quantistica: variabili dinamiche ed operatori. Equazione di Schrodinger. Stati stazionari. Quantizzazione dell'energia per una particella in una scatola. Barriera di potenziale ed effetto tunnel. Atomi con un elettrone: quantizzazione dell'energia e del momento angolare. Transizioni fra stati atomici: emissione ed assorbimento di radiazione. Esperimenti di Stern Gerlach, spin e momento magnetico dell'elettrone. Sistemi di particelle identiche. Principio di Pauli e atomi con più elettroni. Elettroni nei solidi: bande di livelli e conduzione elettrica. Statistiche quantiche. Distribuzione di Fermi-Dirac e gas di elettroni. Distribuzione di Bose-Einstein e gas di fotoni. Emissione spontanea ed emissione indotta. Il laser.

**FISICA NUCLEARE**Docente: **Giuseppe Fratamico ric.****BO, cds: N****Finalità dell'Insegnamento:**

Fornire: a) conoscenze di base sulla costituzione del nucleo atomico e sulle reazioni nucleari che intervengono sui reattori nucleari;

b) elementi sulla formazione e manipolazione di insiemi di dati nucleari in relazione alla progettazione neutronica dei reattori nucleari.

**Programma sintetico**

Elementi di fisica atomica e meccanica ondulatoria - Proprietà generali del nucleo atomico - Le forze nucleari - Il deutone - Modelli del nucleo - Aspetti generali delle reazioni nucleari - Reazioni nucleari spontanee - Leggi delle trasformazioni radioattive - Reazioni nucleari indotte da neutroni di bassa energia - Fissione nucleare - Sezioni d'urto effettive - Elementi sui principi fisici di reazioni a catena.

**Testi consigliati:**

V. BENZI, *Elementi di fisica nucleare*, ENEA, 1983.

L.R.B. ELTON, *Introductory Nuclear Theory*, Pitman-Sons, London, 1965.

**Esame:** orale.

**FISICA TECNICA**Docente: **Sandro Salvigni prof. ord.****BO, cds: M****Obiettivi del Corso**

L'insegnamento si propone di fornire le nozioni e le metodologie di base della termodinamica applicata, della fluidodinamica e della termocinetica, finalizzate allo studio energetico delle macchine e dei sistemi di conversione, trasferimento e controllo dell'energia.

**TERMODINAMICA**

La termodinamica del sistema: impostazione del problema. Richiami sul primo e secondo principio della termodinamica per sistemi chiusi e sulle grandezze termodinamiche. Entropia. Entropia e lavoro. Energia utilizzabile. Sistema aperto. Bilancio delle masse. Il primo principio della termodinamica per i sistemi aperti. Osservazioni ed applicazioni. Il bilancio dell'energia meccanica. Il secondo principio ed il sistema aperto. Superficie ( $p$ ,  $v$ ,  $T$ ). Diagramma termodinamico ( $p$ ,  $v$ ). Proprietà termodinamiche del liquido. Proprietà termodinamiche del vapore. Gas perfetti. Proprietà termodinamiche e trasformazioni dei gas perfetti. Equazione di Van der Waals. Legge degli stati corrispondenti. Equazioni dell'energia. Gas reali. Diagramma entropico ( $T$ ,  $s$ ). Diagramma entalpico ( $h$ ,  $s$ ). Miscele di gas perfetti. Miscele di gas reali. Miscele di gas e vapori. Miscele d'aria e vapor d'acqua. Diagrammi ( $J$ ,  $x$ ). Trasformazioni psicrometriche. Misura del grado igrometrico. Ciclo di Rankine. Ciclo frigorifero.

## FLUIDODINAMICA

Generalità. Aspetti fisici del moto di un fluido. Viscosità. Fenomeni di trasporto. Equazioni fondamentali del moto isoterma. Moto laminare. Turbolenza. Strato limite dinamico. Equazioni integrali. Perdite di carico. Condotte nelle quali sono inserite macchine. Regione di ingresso. Moto in condotti a sezione variabile. Misure di velocità e portata.

## TERMOCINETICA

La legge di Fourier. L'equazione di Fourier. Conduzione stazionaria. Conduzione in regime variabile. Conduzione con generazione di calore: cenni. Conduzione in mezzi anisotropi: cenni. Analogia elettrica. Proprietà termofisiche. Osservazioni critiche. La convezione: generalità. Equazioni fondamentali del moto non isoterma. Convezione forzata in regime laminare. Analisi dimensionale. Similitudine. Strato limite termico. Convezione forzata: casi particolari. Convezione naturale o mista: casi particolari. Metalli liquidi: cenni. L'irraggiamento: generalità. Definizioni. Corpo nero. Leggi dell'irraggiamento. Scambio di energia tra superfici completamente affacciate. Scambio di energia tra superfici parzialmente affacciate. La contemporanea presenza di diverse modalità di scambio: generalità. Convezione ed irraggiamento. Coefficiente globale di scambio termico. Superfici alettate.

*Testo consigliato:*

A. COCCHI, *Elementi di termofisica generale ed applicata*, Esculapio, Bologna.

Lo svolgimento del corso è accompagnato da un elevato numero di esercitazioni aventi come oggetto applicazioni delle nozioni di base fornite dal corso stesso.

Per quanto si riferisce alle esercitazioni, si consigliano, oltre al sopraindicato volume, i seguenti testi: "Esercizi di Fisica Tecnica", nn. 2,3,4,5,6,7,8,9,10, Esculapio, Bologna.

L'esame consiste in un colloquio su tre temi distinti e relativi alla Termodinamica, alla Fluidodinamica ed alla Termocinetica: i temi possono essere sia di carattere strettamente teorico che applicativo, con riferimento alle applicazioni illustrate durante le esercitazioni.

## FISICA TECNICA

Docente: **Gian Luca Morini** prof. ass.

**BO, cds: G\_Bo**

## TERMODINAMICA APPLICATA

La termodinamica del sistema: impostazione del problema. Richiami sul primo e secondo principio della termodinamica per sistemi chiusi e sulle grandezze termodinamiche. Entropia. Entropia e lavoro. Energia utilizzabile. Sistema aperto. Bilancio delle masse. Il primo principio della termodinamica per i sistemi aperti. Osservazioni ed applicazioni. Il bilancio dell'energia meccanica. Superficie ( $p$ ,  $v$ ,  $T$ ). Diagramma termodinamico ( $p$ ,  $v$ ). Proprietà termodinamiche del liquido. Proprietà termodinamiche del vapore. Gas perfetti. Proprietà termodinamiche e trasformazioni dei gas perfetti. Gas reali. Diagramma entropico ( $T$ ,  $s$ ). Diagramma entalpico ( $h$ ,  $s$ ). Miscele di gas perfetti. Miscele d'aria e vapor d'acqua. Trasformazioni psicrometriche. Ciclo di Rankine. Ciclo frigorifero.

## IRRAGGIAMENTO TERMICO

Definizioni - Cavità isoterma e corpo nero - Leggi di Kirchhoff, di Stefan-Boltzmann, di

Planck, del regresso di Wien, di Lambert - Corpo grigio - Scambi di energia per irraggiamento tra corpi neri e grigi - Fattori di forma - Cenno ai corpi non grigi - Coefficiente di irraggiamento.

L'esame consiste in un colloquio su due temi distinti e relativi alla Termodinamica Applicata e all'Irraggiamento Termico: i temi possono essere sia di carattere strettamente teorico che applicativo, con riferimento alle applicazioni illustrate durante le esercitazioni.

#### *Testi Consigliati*

- E. ZANCHINI, *Termodinamica*, Pitagora, Bologna, 1993.  
 E. ZANCHINI, *Termodinamica e irraggiamento termico*, Dispense disponibili presso la Biblioteca della Facoltà di Ingegneria.  
 E. ZANCHINI, *Esercizi di fisica tecnica*, Dispense disponibili presso la Biblioteca della Facoltà di Ingegneria.  
 A. COCCHI, *Elementi di termofisica generale ed applicata*, Esculapio, Bologna.

#### **FISICA TECNICA AMBIENTALE L**

**BO, cds: R**

Docente: **Massimo Garai** prof. straordinario.

**Richiami di Termodinamica generale.** Primo e secondo principio. Entropia e lavoro perduto. Temperatura termodinamica. Vapori saturi.

**Termodinamica applicata.** Bilanci di massa e di energia per sistemi aperti. Diagrammi termodinamici. Ciclo Rankine. Ciclo frigorifero. Pompe di calore. Miscele d'aria e vapore d'acqua. Trasformazioni psicrometriche. Cenni di condizionamento ambientale. Misure di grado igrometrico.

**Conduzione.** Legge di Fourier. Equazione di Fourier. Regime stazionario: strato piano, strato cilindrico. Raggio critico. Analogia elettrica. Ponti termici. Regime periodico stabilizzato. Misure di conduttività termica. Materiali per l'isolamento termico.

**Richiami di Fluidodinamica.** Fluidi newtoniani e non newtoniani. Fenomeni di trasporto. Equazioni fondamentali del moto isoterma. Moti laminare e turbolento. Incomprimibilità. Strato limite dinamico. Perdite di carico. Formula dei camini. Misure di velocità e portata.

**Convezione.** Coefficiente di convezione. Equazioni fondamentali del moto non isoterma. Analisi dimensionale e similitudine. Convezione forzata, naturale e mista. Raffreddamento di un corpo per convezione naturale. Strato limite termico.

**Irraggiamento.** Definizioni di base. Corpi neri e corpi grigi. Leggi di Stefan-Boltzmann, di Planck, di Wien, di Lambert, di Kirchhoff. Scambio di energia tra superfici completamente affacciate e parzialmente affacciate. Irraggiamento solare.

**Contemporanea presenza di diverse modalità di scambio.** Contemporanea presenza di convezione ed irraggiamento. Coefficiente globale di scambio termico. Condensazione superficiale ed interstiziale. Migrazione del vapore d'acqua attraverso le strutture edilizie. Diagramma di Glaser. Scambiatori di calore: equicorrente e controcorrente; calcolo della superficie di scambio.

**ESERCITAZIONI.** Gli esercizi svolti in aula sono parte integrante ed essenziale del corso.

**ESAMI.** Una singola prova orale.

*Testi consigliati*

A. COCCHI, *Elementi di Termofisica generale e applicata*, Esculapio Editrice, Bologna (1990).  
 Y.A. ÇENGEL, *Termodinamica e trasmissione del calore*, McGraw-Hill, Milano (1998).

**FISICA TECNICA AMBIENTALE**

BO, cds: R

Docente: Massimo Garai prof. straordinario.

**Richiami di Termodinamica generale.** Primo e secondo principio. Entropia e lavoro perduto. Temperatura termodinamica. Vapori saturi.

**Termodinamica applicata.** Bilanci di massa e di energia per sistemi aperti. Diagrammi termodinamici. Ciclo Rankine. Ciclo frigorifero. Pompe di calore. Miscele d'aria e vapore d'acqua. Trasformazioni psicrometriche. Cenni di condizionamento ambientale. Misure di grado igrometrico.

**Conduzione.** Legge di Fourier. Equazione di Fourier. Regime stazionario: strato piano, strato cilindrico. Raggio critico. Analogia elettrica. Ponti termici. Regime periodico stabilizzato. Misure di conduttività termica. Materiali per l'isolamento termico.

**Richiami di Fluidodinamica.** Fluidi newtoniani e non newtoniani. Fenomeni di trasporto. Equazioni fondamentali del moto isoterma. Moti laminare e turbolento. Incompressibilità. Strato limite dinamico. Perdite di carico. Formula dei camini. Misure di velocità e portata.

**Convezione.** Coefficiente di convezione. Equazioni fondamentali del moto non isoterma. Analisi dimensionale e similitudine. Convezione forzata, naturale e mista. Raffreddamento di un corpo per convezione naturale. Strato limite termico.

**Irraggiamento.** Definizioni di base. Corpi neri e corpi grigi. Leggi di Stefan-Boltzmann, di Planck, di Wien, di Lambert, di Kirchhoff. Scambio di energia tra superfici completamente affacciate e parzialmente affacciate. Irraggiamento solare.

**Contemporanea presenza di diverse modalità di scambio.** Contemporanea presenza di convezione ed irraggiamento. Coefficiente globale di scambio termico. Condensazione superficiale ed interstiziale. Migrazione del vapore d'acqua attraverso le strutture edilizie. Diagramma di Glaser. Scambiatori di calore: equicorrente e controcorrente; calcolo della superficie di scambio.

**Benessere termoigrometrico.** Bilancio energetico corpo umano-ambiente. Metabolismo e termoregolazione del corpo umano. Equazione del benessere e diagrammi di Fanger. Indici di discomfort globale: PMV, PPD, ET\*. Indici di discomfort locale.

**Qualità dell'aria.** Sostanze inquinanti dell'aria interna. Valutazione dell'inquinamento dell'aria interna. Controllo dell'inquinamento dell'aria interna.

**Acustica.** Equazione delle onde acustiche. Principali grandezze acustiche. Cenni sul sistema uditivo umano. Scala dei decibel. Cenni di analisi in frequenza. Riverberazione. Materiali fonoassorbenti. Propagazione del rumore in ambiente esterno. Barriere acustiche. Leggi e norme tecniche di settore.

**Illuminotecnica.** Grandezze fondamentali e loro relazioni. Illuminazione artificiale di interni. Illuminazione artificiale di esterni. Illuminazione naturale di interni.

ESERCITAZIONI. Gli esercizi svolti in aula sono parte integrante ed essenziale del corso.

ESAMI. Una singola prova orale.



*Testi consigliati*

- A. COCCHI, *Elementi di Termofisica generale e applicata*, Esculapio Editrice, Bologna (1990).  
 Y.A. ÇENGELE, *Termodinamica e trasmissione del calore*, McGraw-Hill, Milano (1998).  
 G. MONCADA LO GIUDICE, M. COPPI, *Benessere termico e qualità dell'aria interna*, Masson, Milano (1997).  
 G. MONCADA LO GIUDICE, S. SANTOBONI, *Acustica*, Masson/ESA, Milano (1995).  
 G. MONCADA LO GIUDICE, A. DE LIETO VOLLARO, *Illuminotecnica*, Masson/ESA, Milano (1993).

**FISICA TECNICA AMBIENTALE****BO, cds: D**Docente: **Adriano Vaccari** prof. ass.*Sistemi di Misura*

Sistema internazionale, Sistema CGS, Sistema Tecnico Europeo, Sistema Tecnico Anglosassone. Conversioni tra le varie unità di misura.

*Complementi di Termodinamica*

2° Principio, trasformazioni invertibili, disequaglianza di Clausius, teorema dell'aumento dell'entropia, lavoro massimo e lavoro minimo. Uso delle tabelle per i vapori; ciclo Rankine, cicli frigoriferi, pompa di calore, ciclo Otto, ciclo Diesel; cenno alle turbine a gas.

*Meccanica dei fluidi*

Legge dell'idrostatica; bilancio di entalpia; equazione di Bernoulli, bilancio di energia meccanica per il sistema aperto: efflusso di liquidi ed aeriformi da serbatoi. Fluidi newtoniani e non newtoniani. Bilancio di quantità di moto; profili di velocità in moto laminare e stazionario lungo una parete inclinata ed in una tubazione. Tensore degli sforzi, sua simmetria; principio di sovrapposibilità degli effetti, sistemi di tensioni piane, circolo di Mohr. Punto di vista dell'osservatore fisso (Eulero) e dell'osservatore mobile con il fluido (Lagrange); equazione di Continuità, significato fisico della divergenza della velocità. Relazione tra le componenti del tensore degli sforzi e le derivate della velocità. Equazioni generali della meccanica dei fluidi newtoniani isoterme; semplificazione per viscosità e densità costanti: equazioni di Navier-Stokes, esempio di soluzione diretta. Similitudine dinamica, numeri di Reynolds e Froude. Non influenza della condizione iniziale per i moti stazionario e mediamente stazionario. Pressione generalizzata e non influenza del numero di Froude in assenza di peli liberi. Turbolenza, velocità e pressione mediate nel tempo; cenno alle tensioni di Reynolds; significato fisico del vettore vortice; moti irrotazionali.

Perdite di carico nelle tubazioni, fattore di Fanning e sua dipendenza da Re; perdite concentrate.

Calcolo per la scelta di una tubazione e della pompa relativa (numerico); soluzione più economica. Metodo di calcolo di una rete di condotte. Calcolo di una tubazione nel caso di fluido comprimibile. Resistenza all'avanzamento di oggetti immersi in un fluido, soluzione di Stokes per moto irrotazionale attorno ad una sfera: viscosimetro a sfera, decantazione. Moto dei liquidi in letti filtranti, equazione di Kozeny. Strumenti di misura: manometro differenziale, tubo di Pitot, Venturimetro, Diaframma.

*Trasmissione del Calore*

Legge di Fourier: mezzi omogenei, isotropi ed anisotropi; applicazione alla conduzione in simmetria piana e cilindrica. Equazione di Fourier quale forma semplificata dell'equazione dell'energia; sua applicazione alla conduzione non stazionaria in un semispazio; soluzione mediante la funzione degli errori. Modello matematico che regola la convezione; applicazione diret-

ta al caso della convezione naturale in una stretta fessura verticale: soluzione in funzione del numero di Grashof. Modifica delle equazioni di Navier-Stokes per tener conto della variabilità della densità nella convezione naturale: modello matematico che regola la convezione naturale.

Adimensionalizzazione dei modelli matematici delle convezioni forzata e naturale: numeri di Reynolds, Prandtl, Grashof. Eguaglianza dei numeri di Nusselt nel caso di similitudine dinamica.

Calcolo dei coefficienti di convezione mediante relazioni sperimentali. Calcolo di un coefficiente globale di scambio tra acqua calda entro una tubazione ed aria all'esterno; calcolo dell'isolamento, calcolo del raffreddamento lungo la tubazione.

Dati empirici sui coefficienti di convezione nel caso di fluidi evaporanti e condensanti.

Leggi dell'irraggiamento termico: Kirckhoff, Lambert, Stefan-Boltzmann, Planck; corpi opachi, neri, grigi e scabri. Coefficienti angolari per l'irraggiamento tra corpi, legge di reciprocità. Alcuni casi di scambio termico per irraggiamento tra corpi neri. Metodo delle "Radiosità" per il calcolo dello scambio tra corpi grigi e scabri.

Scambiatori di calore tubolari, a fascio tubiero, a piastre; equicorrente e controcorrente, bilancio dell'energia nello scambiatore; ricavo della relazione per determinare la superficie dello scambiatore.

### *Impianti termotecnici*

Bilanci di materia ed energia nel caso di mescolamento di due correnti di aria umida; umidificazione adiabatica ed a vapore; passaggio attraverso una batteria, fattore di by pass. Trattamento invernale ed estivo dell'aria condizionata. Fabbisogno termico e frigorifero degli ambienti: scelta del tipo di impianto. Impianti di solo riscaldamento: dimensionamento dei corpi scaldanti, delle tubazioni e della caldaia. Impianti di condizionamento: impianto a tutt'aria ed impianto ad aria primaria e ventilconvettori; dimensionamento delle tubazioni, dei canali, delle bocchette delle unità di trattamento aria e dei ventilconvettori.

## **FISICA TECNICA AMBIENTALE L**

**BO, cds: C**

Docente: **Alessandro Cocchi** prof. ord.

### **Sistemi di unità di misura**

Sistema Internazionale, sistema tecnico: conversioni tra le unità di misura.

### **Complementi di termodinamica applicata**

Bilancio di energia per sistemi chiusi. Bilancio di energia per sistemi aperti a due o più correnti: bilancio in forma entalpia o meccanica. Equazione di Bernoulli come caso particolare. Esempi tipici di sistemi aperti ed adattamento dell'equazione di bilancio ai singoli casi.

Termodinamica del vapore e delle miscele di aria e vapor d'acqua.

Diagrammi termodinamici ( $p, v$ ), ( $T, s$ ) ed ( $h, s$ ) o di Collier per il vapor d'acqua. Diagramma di Mollier per le miscele di aria e vapor d'acqua e diagramma psicrometrico.

Ciclo Rankine; Ciclo frigorifero con compressore o ad assorbimento; Pompa di Calore

### **Complementi di fluidodinamica applicata**

Perdite di carico nelle tubazioni; perdite distribuite ed accidentali; perdite in funzione del numero di Reynolds, della scabrezza e della geometria.

Moto nei camini.

Strumenti di misura: tubo di Pitot, anemometro a filo caldo, Venturimetro, diaframma, manometro differenziale.

**Trasmissione del calore**

Legge di Fourier; mezzi omogenei, isotropi ed anisotropi. Equazione di Fourier. Applicazioni alla conduzione stazionaria in mezzi omogenei isotropi con simmetria piana e cilindrica.

Coefficiente di conduzione e coefficiente di diffusione del calore: analisi critica. Resistenze termiche.

Misura del coefficiente di conduzione equivalente e dell'inertanza termica di una struttura edilizia.

Migrazione del vapor d'acqua nelle strutture edilizie: il diagramma di Glaser.

Convezione forzata e convezione naturale: i parametri che governano il fenomeno del moto e le equazioni di Navier Stokes. Similitudine geometrica, cinematica, dinamica e degli scambi di energia, per ricavare le relazioni tra i numeri puri di Reynolds, Prandtl, Grashof e Nusselt evidenziandone il significato fisico.

Calcolo dei coefficienti di convezione mediante relazioni sperimentali adimensionali: coefficiente globale di scambio termico; applicazioni numeriche. Raggio critico di un isolamento termico.

Leggi dell'irraggiamento: corpi opachi e trasparenti, neri e grigi: fattori di vista tra corpi parzialmente affacciati e legge di reciprocità; alcuni casi tecnicamente interessanti di scambio termico per irraggiamento tra corpi grigi.

Scambiatori di calore tubolari, a fascio tubiero, a piastre: equicorrente e controcorrente: relazione per il calcolo della superficie dello scambiatore.

**Acustica applicata**

Elementi di metrologia acustica. Rumore e vibrazioni. Legislazione di interesse: requisiti acustici passivi degli edifici e degli elementi di edificio.

*Testo consigliato:*

A. COCCHI, *Elementi di termofisica generale e applicata*, Progetto Leonardo, Bologna, 1° ed. 1990.

Modalità di espletamento dell'esame: orale

**FISICA TECNICA L****BO, cds: M**

Docente: Sandro Salvigni prof. ord.

**Obiettivi del Corso**

L'insegnamento si propone di fornire i criteri con cui affrontare lo studio energetico delle macchine e dei sistemi esaminando le principali trasformazioni termodinamiche tra forme diverse di energia (termica e meccanica); verranno inoltre forniti gli elementi di base della Termocinetica necessari a comprendere i meccanismi di trasporto del calore.

**TERMODINAMICA APPLICATA**

La termodinamica del sistema: impostazione del problema. Applicazioni del primo e secondo principio della termodinamica a sistemi chiusi e valutazione delle grandezze termodinamiche. Entropia e lavoro. Energia utilizzabile. Sistema aperto. Bilancio delle masse. Il primo principio della termodinamica per i sistemi aperti. Osservazioni ed applicazioni. Il bilancio dell'energia meccanica. Perdite di carico. Sistemi aperti nei quali sono inserite macchine. Trasformazioni iso-

entropiche in sistemi a sezione variabile. Il secondo principio ed il sistema aperto. Superficie ( $p$ ,  $v$ ,  $T$ ). Diagramma termodinamico ( $p$ ,  $v$ ). Proprietà termodinamiche del liquido. Proprietà termodinamiche del vapore. Gas perfetti. Proprietà termodinamiche e trasformazioni dei gas perfetti. Diagramma entropico ( $T$ ,  $s$ ). Diagramma entalpico ( $h$ ,  $s$ ). Miscele di gas perfetti. Esempi di cicli termodinamici.

### **TERMOCINETICA**

La legge di Fourier. L'equazione di Fourier. Conduzione stazionaria. Conduzione in mezzi anisotropi: cenni. Analogia elettrica. Proprietà termofisiche. La convezione: generalità. Equazioni fondamentali del moto non isoterma. Convezione forzata: casi particolari. Convezione naturale o mista: casi particolari. L'irraggiamento: generalità. Definizioni. Corpo nero. Leggi dell'irraggiamento. La contemporanea presenza di diverse modalità di scambio. Convezione e irraggiamento. Coefficiente globale di scambio termico.

*Testo consigliato:*

A. COCCHI, *Elementi di termofisica generale ed applicata*, Esculapio, Bologna.

Lo svolgimento del corso è accompagnato da un elevato numero di esercitazioni aventi come oggetto applicazioni delle nozioni di base fornite dal corso stesso.

L'esame consiste in un colloquio su temi distinti e relativi alla Termodinamica Applicata ed alla Termocinetica: i temi possono essere sia di carattere strettamente teorico che applicativo, con riferimento alle applicazioni illustrate durante le esercitazioni.

### **FISICA TECNICA L**

Docente: **Antonio Barletta** prof. straord.

**BO, cds: E**

#### **Finalità dell'Insegnamento**

L'Insegnamento si propone di fornire le nozioni e le metodologie di base della termodinamica applicata, della meccanica dei fluidi e della trasmissione del calore per conduzione, convezione ed irraggiamento. Tali nozioni sono finalizzate allo studio dei sistemi di conversione, trasferimento e controllo dell'energia.

#### **Termodinamica applicata**

Definizioni basilari - Primo principio e definizione della proprietà energia - Secondo principio - Temperatura termodinamica - Disuguaglianza di Clausius - Definizione della proprietà entropia - Principio di non diminuzione dell'entropia - Sistemi semplici - Equazione di Gibbs - Regola delle fasi - Motrici termiche e macchine frigorifere fra due serbatoi - Termodinamica dei volumi di controllo: ipotesi di equilibrio termodinamico locale, bilanci di energia e di entropia - Sistemi semplici chiusi monocomponenti - Relazioni termodinamiche - Calori specifici - Equazione di stato e diagrammi  $\{p, T\}$ ,  $\{p, v\}$  - Gas ideali: legge di Joule; variazioni di energia interna, entalpia ed entropia; valori dei calori specifici - Cenni alle proprietà dei liquidi - Vapori saturi: valori delle proprietà specifiche; equazione di Clapeyron - Proprietà dei vapori surriscaldati - Diagrammi termodinamici  $\{T, s\}$ ,  $\{h, s\}$  e  $\{p, h\}$  - Proprietà delle miscele di gas ideali - Entropia di mescolamento - Miscele di aria e vapore d'acqua - Ciclo Rankine e ciclo frigorifero a compressione.

### Conduzione termica

Densità di flusso termico e legge di Fourier - Equazione di Fourier - Casi semplici di conduzione stazionaria in geometria piana, cilindrica e sferica - Resistenza termica; resistenze termiche in serie e in parallelo - Conduzione non stazionaria monodimensionale - Conduzione stazionaria con generazione uniforme, in geometria cilindrica - Effetti termoelettrici: effetto Seebeck e ed effetto Peltier.

### Meccanica dei fluidi e convezione termica

Definizioni basilari - Tensore delle tensioni ed equazioni costitutive - Teorema del trasporto di Reynolds - Equazioni di bilancio locale della massa, della quantità di moto e dell'energia - Ipotesi di Boussinesq - Moti isotermi - Moto laminare entro un canale piano - Equazione delle vibrazioni meccaniche in un fluido - Cenni alla teoria dello strato limite ed al moto esterno ad una lamina piana o ad un cilindro - Equazioni di bilancio integrale e studio a parametri concentrati del moto entro condotti - Perdite di carico distribuite e concentrate - Diagramma di Moody - Misure di velocità e portata - Analisi dei moti non isotermi: scrittura in forma adimensionale delle equazioni di bilancio, numeri puri di Reynolds, Grashof e Prandtl - Convezione forzata, convezione naturale, convezione mista - Coefficiente di convezione e numero di Nusselt - Convezione naturale in un canale piano verticale - Correlazioni tra il numero di Nusselt ed i numeri puri di Reynolds, Grashof e Prandtl.

### Irraggiamento termico

Definizioni - Cavità isoterma e corpo nero - Leggi di Kirchhoff, di Stefan-Boltzmann, di Planck, del regresso di Wien, di Lambert - Corpo grigio - Scambi di energia per irraggiamento tra corpi neri e grigi - Fattori di forma - Cenno ai corpi non grigi - Coefficiente di irraggiamento.

L'esame consiste in una prova orale.

### Bibliografia obbligatoria

- A. BARLETTA, *Applicazioni della fisica termica*, Pitagora, Bologna, 2002.
- E. ZANCHINI, *Termodinamica*, Pitagora, Bologna, 1993.
- E. ZANCHINI, *Principi della termodinamica, conduzione termica, meccanica dei fluidi e convezione termica, irraggiamento termico*, dispense disponibili presso la Biblioteca della Facoltà di Ingegneria.
- E. ZANCHINI, *Esercizi di fisica tecnica*, dispense disponibili presso la Biblioteca della Facoltà di Ingegneria.

### FISICA TECNICA L

FO, cds: clm

Docente: **Giampietro Fabbri** prof. ass.

### Finalità del corso:

Il corso si propone di fornire le nozioni di base sulle proprietà e le trasformazioni dei sistemi termodinamici con particolare attenzione ai problemi che interessano l'Ingegneria Meccanica.

### Programma:

*Concetti fondamentali della Termodinamica:* Grandezze fisiche e unità di misura - Sistemi chiusi e sistemi aperti - Forme dell'energia - Equilibrio e trasformazioni - Reversibilità - Cicli ter-

modinamici - Pressione, Volume e Temperatura - Diagrammi termodinamici

*Scambi di energia e Trasformazioni:* Principio zero - Energia interna - Calore - Lavoro - Primo principio per sistemi chiusi e aperti - Serbatoi di energia termica - Trasformazioni reversibili e irreversibili - Cicli termodinamici - Secondo principio - Teorema di Carnot - Temperatura termodinamica - Entropia - Scambiatori di calore.

*Proprietà delle sostanze pure e delle miscele:* Sostanze pure - Fasi - Cambiamenti di fase - Diagrammi di stato per trasformazioni con cambiamento di fase - Superficie  $(p,v,T)$  - Proprietà termodinamiche dei liquidi, dei vapori, dei gas perfetti e reali, delle miscele di gas.

*Cicli diretti e inversi:* Ciclo di Carnot - Cicli ad aria standard - Ciclo Otto - Ciclo Diesel - Ciclo Brayton - Rigenerazione - Cicli a vapore - Ciclo Rankine - Riscaldamento - Cicli inversi - Frigoriferi e pompe di calore - Proprietà dei refrigeranti.

*Condizionamento dell'aria:* Aria secca e umida - Umidità assoluta e relativa - Temperatura di rugiada, di saturazione adiabatica e di bulbo umido - Diagramma psicrometrico - Benessere termoisometrico - Sistemi di trattamento dell'aria.

*Fluidodinamica:* Proprietà dei fluidi - Moto laminare e turbolento - Equazioni integrali del moto - Perdite di carico.

*Trasmissione del calore:* Meccanismi di trasporto del calore - Conduzione - Convezione - Irraggiamento - Resistenza termica.

*Testi consigliati:*

A. COCCHI, *Elementi di termofisica generale ed applicata*, Progetto Leonardo, Casa Editrice Esculapio, Bologna, 1990.

Y. A. ÇENGEL, *Termodinamica e trasmissione del calore*, McGraw-Hill, Milano 1998.

*Esami:* orali e scritti su temi di carattere teorico ed applicativo.

## FISICA TECNICA LA

CE, cds: clb

Docente: Stefano Lazzari ric.

### Finalità del Corso:

L'Insegnamento si propone di fornire le nozioni e le metodologie di base della termodinamica applicata, della fluidodinamica e della trasmissione del calore al fine di consentire un'analisi energetica dei sistemi.

### Programma del Corso:

#### TERMODINAMICA APPLICATA

Sistema Internazionale di Unità di Misura (richiami) - Generalità e definizioni - Primo principio e proprietà energia - Secondo principio - Temperatura termodinamica - Disuguaglianza di Clausius - Proprietà entropia - Principio di non diminuzione dell'entropia - Sistemi semplici - Equazione di Gibbs - Regola delle fasi - Bilanci di energia per un volume di controllo - Sistemi semplici chiusi monocomponenti - Calori specifici - Equazione di stato e diagrammi  $(p,T)$ ,  $(p,v)$  - Gas ideali: legge di Joule; variazioni di energia interna, entalpia ed entropia - Cenno alle proprietà dei liquidi - Proprietà dei vapori saturi - Equazione di Clapeyron - Cenno alle proprietà dei vapori surriscaldati e dei gas reali - Diagrammi termodinamici  $\{T,s\}$ ,  $\{h,s\}$ ,  $\{p,h\}$ .

**FLUIDODINAMICA**

Definizioni elementari – Regime laminare e turbolento – Strato limite dinamico – Viscosità – Fluidi newtoniani e non newtoniani – Tensioni in un fluido in moto – Derivata locale e derivata sostanziale – Equazioni fondamentali del moto isoterma: equazione di continuità ed equazione vettoriale di Navier – Casi semplici di moto laminare – Moto isoterma di fluidi in condotti: equazioni integrali – Perdite di carico – Fattore di attrito – Diagramma di Moody – Condotti nei quali sono inserite macchine: prevalenza – Misure di pressione, velocità e portata (cenni).

**TRASMISSIONE DEL CALORE**

*Conduzione:* Legge di Fourier – Equazione di Fourier – Casi semplici di conduzione stazionaria in geometria piana e cilindrica – Resistenza termica; resistenze termiche in serie e in parallelo – Conduzione stazionaria con generazione di calore.

*Convezione:* Distinzione fra convezione forzata, naturale e mista – Equazioni fondamentali del moto non isoterma – Coefficiente di convezione e numero di Nusselt – Adimensionalizzazione delle equazioni e relazione  $Nu = Nu(Re, Gr, Pr)$  in convezione mista – Strato limite termico – Convezione forzata: dipendenza  $Nu = Nu(Re, Pr)$ , casi particolari, esempi – Convezione naturale: dipendenza  $Nu = Nu(Gr, Pr)$ , casi particolari, esempi.

*Irraggiamento termico:* Generalità e definizioni – Cavità isoterma e corpo nero – Leggi di Kirchhoff, di Stefan-Boltzmann, di Planck, del regresso di Wien, di Lambert – Corpo grigio – Scambi di energia per irraggiamento fra corpi neri e grigi – Fattori di forma e loro proprietà.

*Problemi composti di scambio termico:* Generalità – Coefficiente di adduzione – Resistenza termica globale e coefficiente globale di scambio termico.

**Esercitazioni:**

Le esercitazioni sono volte sia all'applicazione delle nozioni teoriche fornite a lezione che all'approfondimento di alcuni aspetti teorici.

**Testi consigliati e di consultazione:**

ZANCHINI E., *Termodinamica*, Pitagora, Bologna, 1993.

ÇENGEL Y. A., *Termodinamica e trasmissione del calore*, McGraw-Hill, Milano, 1999.

PNUELI D., GÜTFINGER C., *Meccanica dei fluidi*, Zanichelli, 1995.

FABBRI G., *Fluidodinamica applicata - 50 esercizi svolti*, Progetto Leonardo, Esculapio, 1999.

*Esercizi di Fisica Tecnica*, Volumi 1-10, Libreria Editoriale Petroni, Bologna.

COCCHI A., *Elementi di termodinamica generale ed applicata*, Progetto Leonardo, Società Editrice Esculapio, Bologna, 1990.

**Modalità di svolgimento dell'esame:**

Scritto e/o orale, su temi di carattere teorico ed applicativo.

**FISIOLOGIA LA**

CE, cds: clb

Docente: Pierluigi Lenzi prof. ord.

1) *Potenziale della membrana a riposo.* Soluzioni, diffusione dei soluti, osmosi. Composizione dei liquidi intracellulare ed extracellulare. Permeabilità selettiva della membrana cellulare. Equilibrio elettrochimico e determinazione del potenziale di equilibrio dei principali ioni con l'equazione di Nernst. Relazione tra permeabilità agli ioni diffusibili e potenziale di membrana:

equazione di Goldman. Funzioni della pompa sodio-potassio.

2) *Potenziale di azione*. Membrane eccitabili e canali voltaggio dipendenti. Effetti locali della stimolazione elettrica e insorgenza dell'eccitamento: soglia di eccitabilità e meccanismo rigenerativo. Conduttanze e flussi ionici nelle varie fasi del potenziale di azione. Effetti delle concentrazioni extracellulari degli ioni sul potenziale di riposo e sul potenziale di azione. Ciclo di eccitabilità della membrana e periodi refrattari. Propagazione del potenziale di azione.

3) *Trasmissione sinaptica*. Sinapsi elettriche e sinapsi chimiche. Sinapsi chimiche: sintesi, liberazione ed inattivazione dei principali mediatori. Modificazioni della membrana subsinaptica da parte del mediatore: alterazione della permeabilità di membrana, potenziale postsinaptico eccitatorio, potenziale postsinaptico inibitorio. Sommazione spaziale e temporale dei potenziali postsinaptici. Modificazione del metabolismo della cellula postsinaptica: secondi messaggeri. Inibizione presinaptica. Relazione tra ampiezza del segnale locale e frequenza dei potenziali di azione propagati nel neurone. Trasmissione neuromuscolare.

4) *Tessuto muscolare*. Muscolo scheletrico, muscolo cardiaco, muscolo liscio. Meccanismo molecolare della contrazione muscolare. Accoppiamento elettromeccanico. Tetano muscolare. Contrazione isometrica ed isotonica. Significato delle curve tensione-lunghezza e forza velocità nel muscolo scheletrico. Innervazione del muscolo scheletrico e graduazione della forza contrattile.

5) *Attività elettrica cardiaca*. Struttura del sistema di generazione e conduzione dell'eccitamento cardiaco. Attività elettrica del miocardio specifico (tessuto nodale e fibre di Purkinje) e del miocardio comune. Origine e propagazione dell'eccitamento cardiaco. Effetti della stimolazione vagale e simpatica sulla attività elettrica del miocardio specifico e comune. Correlazione temporale tra eventi elettrici e meccanici del ciclo cardiaco.

6) *Attività meccanica del cuore*. Eventi meccanici del ciclo cardiaco: movimenti delle valvole e variazioni della pressione e del volume del sangue negli atri e nei ventricoli. Durata delle fasi del ciclo cardiaco. Rumori cardiaci e loro genesi.

7) *Emodinamica*. Richiami su pressione idrostatica, teorema di Bernoulli, moto laminare (equazione di Hagen-Poiseuille), moto turbolento (formula di Reynolds). Viscosità del sangue. Velocità e pressione del sangue nei vari segmenti vascolari.

8) *Gittata cardiaca*. Gittata sistolica e gittata cardiaca. Principio della diluizione dell'indicatore applicato alla determinazione della gittata cardiaca. Diagramma volume-pressione nel ventricolo sinistro. Regolazione eterometrica ed omeometrica. Lavoro del cuore. Legge di Laplace applicata al cuore.

9) *Elettrocardiogramma*. Basi teoriche dell'elettrocardiogramma. Derivazioni standard. Correlazione tra il segnale elettrocardiografico e la propagazione dell'eccitamento cardiaco. Asse elettrico del cuore e sua valutazione.

*Modalità di svolgimento dell'esame*

Solo orale.

## FISIOLOGIA LB

Docente: **Rosa Domeniconi** prof. inc.

CE, cds: clb

10) *Funzioni delle arterie e della arteriole*. Struttura dei vasi arteriosi. Caratteristiche elastiche e funzioni delle grandi arterie. Funzioni delle arteriole. Polso arterioso centrale e periferico. Legge di Laplace applicata ai vasi. Tono basale della muscolatura dei vasi. Regolazione nervosa e umorale (ormoni e meccanismi di regolazione locale) del tono della muscolatura vasale.



11) *Funzioni dei capillari, delle vene e dei vasi linfatici.* Struttura e funzioni dei capillari. Regolazione del flusso capillare. Diffusione tra plasma e liquido interstiziale. Scambi idrici tra plasma e liquido interstiziale secondo l'ipotesi di Starling-Landis. Struttura e funzione dei vasi linfatici. Struttura e funzione di vasi venosi. Polso venoso. Fattori che determinano il ritorno del sangue venoso al cuore.

12) *Pressione arteriosa e sua regolazione.* Determinazione della pressione arteriosa mediante lo sfigmomanometro di Riva-Rocci. Pressione sistolica, diastolica e differenziale. Regolazione riflessa della pressione arteriosa: localizzazione, struttura e caratteristiche funzionali dei barocettori aortici e carotidei. Riflessi a partenza dai recettori atriali e dei vasi toracici. Sistema renina-angiotensina-aldosterone della regolazione della pressione arteriosa.

13) *Circolazione polmonare.* Struttura del circolo polmonare. Caratteristiche emodinamiche: pressione e resistenza. Scambi idrici del letto capillare alveolare.

14) *Ventilazione polmonare.* Anatomia funzionale delle vie respiratorie. Muscoli inspiratori principali e accessori. Movimenti inspiratori. Significato funzionale dei meccanismi diaframmatico e costale. Muscoli espiratori. Definizione di volumi e capacità polmonari. Spirometria. Misura della capacità funzionale residua. Definizione e metodi di misura dello spazio morto. Ventilazione polmonare e ventilazione alveolare.

15) *Meccanica della ventilazione polmonare.* Modificazioni della pressione alveolare e del flusso di aria durante un ciclo respiratorio. Pressione pleurica e sue variazioni durante un ciclo respiratorio. Curve pressione-volume del polmone, del torace e dell'apparato respiratorio in toto. Complianza. Contributo della tensione superficiale alla elasticità polmonare. Fattore surfattante e suo significato fisiologico. Flusso dell'aria lungo le vie respiratorie. Resistenza delle vie respiratorie: sua misura e fattori che la determinano. Lavoro respiratorio.

16) *Scambi gassosi nei polmoni.* Struttura della barriera aria-sangue. Composizione dell'aria atmosferica e dell'aria alveolare. Fattori che determinano il processo della diffusione del gas respiratori: pressioni parziali e diffusibilità dei gas; superficie alveolare e superficie capillare di scambio. Tempo di passaggio del sangue nel capillare polmonare e tempo di equilibrio. Capacità di diffusione polmonare e sua determinazione. Rapporto ventilazione-perfusione. "Shunt" anatomici (bronchiali e coronarici) e fisiologici (alveolari).

17) *Trasporto dell'ossigeno nel sangue.* Ossigeno trasportato in soluzione. Ossigeno chimicamente legato: struttura dell'emoglobina e sua concentrazione nel sangue; curva di dissociazione dell'ossiemoglobina, suo significato funzionale e fattori che la modificano. Aspetti quantitativi del trasporto dell'ossigeno nel sangue. Ipossie.

18) *Trasporto della anidride carbonica nel sangue.* Forma di trasporto dell'anidride carbonica nel sangue: disciolta e combinata chimicamente (bicarbonati e carbamino-composti). Ripartizione plasma-eritrociti dell'anidride carbonica. Curva di dissociazione dell'anidride carbonica e aspetti quantitativi del suo trasporto nel sangue. Effetto del grado di ossigenazione dell'emoglobina sulla curva di dissociazione dell'anidride carbonica.

19) *Regolazione chimica della respirazione.* Risposte ventilatorie e variazioni di  $pO_2$ ,  $pCO_2$  e pH ematici. Chemocettori periferici e chemocettori centrali: localizzazione e funzione nella regolazione della ventilazione polmonare. Interazione tra gli stimoli chimici.

20) *Compartimenti idrici dell'organismo.* Contenuto idrico totale dell'organismo, sua ripartizione nei diversi compartimenti e modalità di determinazione (diluizione dell'indicatore). Equilibrio idrico-salino dei compartimenti.

21) *Circolazione renale.* Generalità sul circolo renale. Vascolarizzazione dei nefroni corticali e iuxtamidollari. Determinazione dei flussi plasmatico ed ematico. Meccanismi di regolazione estrinseca ed intrinseca (autoregolazione) della circolazione renale. Apparato iuxtglomerulare e sistema renina-angiotensina.

22) *Clearance renali.* Concetto di clearance. Clearance dell'inulina e del paraaminoippurato

e basi fisiologiche delle loro applicazioni pratiche. Rapporti di clearance.

23) *Ultrafiltrazione glomerulare*. Struttura del glomerulo renale. Processo di ultrafiltrazione, bilancio delle pressioni e pressione effettiva di filtrazione. Proprietà funzionali della membrana glomerulo-capillare: composizione dell'ultrafiltrato. Rapporto filtrato-filtrando. Velocità di ultrafiltrazione. Determinazione del carico filtrato.

24) *Funzioni tubulari*. Struttura del tubulo renale. Meccanismi di riassorbimento e di secrezione. Trasporti con limite tubulare massimo (glucosio e paraaminoippurato) e con limite gradiente-tempo (sodio). Trasporti passivi (urea).

25) *Funzione del nefrone prossimale*. Trasporto di soluti nel tubulo contorto prossimale (sodio, cloro, bicarbonato, idrogenioni, fosfato, aminoacidi e glucosio).

26) *Meccanismi di concentrazione e diluizione dell'urina*. Funzione del nefrone distale nell'omeostasi osmotica. Meccanismo di moltiplicazione della concentrazione per controcorrente. Scambio per controcorrente nei vasa recta. Riassorbimento dell'acqua e sua regolazione ormonale. Clearance osmolare e clearance dell'acqua libera.

27) *Acidificazione dell'urina*. Meccanismi di compenso renali alle alterazioni dell'equilibrio acido-base. Secrezione degli ioni idrogeno, assorbimento degli ioni bicarbonato, assorbimento e secrezione degli ioni potassio, formazione e secrezione di ammoniaca.

*Modalità di svolgimento dell'esame*

Solo orale.

## FLUIDODINAMICA L

FO, cds: cla

Docente: **Giambattista Scarpi** prof. ord.

Richiami sui sistemi di unità di misura. Cenni di analisi dimensionale. Concetto di fluido. Schema di mezzo continuo. Principali caratteristiche meccaniche e termodinamiche dei fluidi. Richiami sui campi scalari e vettoriali.

Statica dei fluidi. L'atmosfera standard internazionale.

Equazione di continuità. Equazione del moto dei fluidi: concetto di derivata sostanziale. Equazioni di Navier-Stokes e di Eulero. Schemi semplificati e loro validità: fluido ideale e fluido incomprimibile. L'esperienza di Reynolds. Moto di fluidi incomprimibili in condotti, in regime laminare e turbolento. Diagramma di Moody. Il teorema di Bernoulli per fluidi incomprimibili e per fluidi comprimibili. Trascurabilità delle forze di massa nel caso dei gas.

Moto di fluidi ideali incomprimibili: moti piani; funzione di corrente; moti a potenziale: significato fisico e validità dello schema. Potenziale di corrente uniforme, sorgente, dipolo e loro combinazioni; potenziale di vortice; corrente traslocircolatoria attorno al cerchio. Effetto Magnus. Teorema di Kutta-Joukowski.

Teoria di Glauert per lo studio dei profili sottili come superfici vorticose. Coefficiente di pressione. Coefficiente di portanza e di momento. Centro di pressione e centro aerodinamico. Cenni su metodi approssimati per lo studio di profili con spessore non trascurabile.

Studio dello strato limite. Strato limite laminare e turbolento su lamina piana parallela alla corrente. Coefficiente di resistenza. Cenni sullo strato limite su profili curvi. Problemi di separazione. Corpi di cattiva penetrazione.

Teoria dell'ala finita. Portanza e resistenza indotta nel caso generale. Distribuzione ellittica della circolazione e sue conseguenze. Curve polari. Momento di rollio e di imbardata e relativi coefficienti. Legame tra le caratteristiche geometriche e aerodinamiche dell'ala. Cataloghi e repertori di profili alari e loro uso.

Moto dei fluidi comprimibili. Correnti subsoniche. Comportamento di un profilo sottile in corrente subsonica. Effetti della comprimibilità sulla portanza. Numero di Mach critico. Moto isentropico di fluido comprimibile in condotti di sezione variabile. Correnti supersoniche. Espansione infinitesima ed espansione di Prandtl-Meyer. Fenomeni di shock. Equazioni per lo shock obliquo. Polare di shock. Diagramma angolo di shock-deviazione. Trasformazione di Rankine-Hugoniot. Variazione dei parametri fisici attraverso lo shock in funzione del numero di Mach normale. Fenomeni di shock negli ugelli. Comportamento di un profilo sottile in corrente supersonica. Coefficiente di portanza; resistenza d'onda. Efficienza del profilo. Cenni sulla teoria dei modelli e sulle gallerie aerodinamiche. Principi di funzionamento delle eliche.

## FONDAMENTI DELL'INGEGNERIA DI PROCESSO L

BO, cds: Q

Docente: Serena Bandini prof ass

L'insegnamento costituisce un'introduzione all'analisi quantitativa dei processi dell'industria chimica eseguita utilizzando il modello di impianto chimico come rete di correnti materiali ed energetiche colleganti un sistema di "scatole nere".

Obiettivo del corso è quello di fornire gli elementi di base per eseguire bilanci di materia ed energia per singole apparecchiature e per sistemi complessi.

### Argomenti principali.

1. I sottosistemi costituenti un impianto chimico: apparati continui, semicontinui e discontinui. Funzionamento in condizioni stazionarie e transitorie.
2. Stato delle correnti materiali ed energetiche: variabili di composizione e variabili di flusso, definizioni, relazioni ed unità di misura.
3. L'equazione di bilancio di una proprietà estensiva: termini di accumulo, generativi e di flusso.
4. Bilanci di materia per singoli apparati, in presenza ed in assenza di reazioni chimiche, in condizioni di regime stazionario e transitorio. Conversione, selettività e resa. Variazione della base di bilancio. Applicazioni.
5. Bilanci di energia per singoli apparati, in presenza ed in assenza di reazioni chimiche, in condizioni di regime stazionario e transitorio. Richiami sul calcolo di variazioni di entalpia per sostanze pure. Criteri di scelta dello stato di riferimento più opportuno per la risoluzione. Applicazioni a sistemi ideali.
6. Bilancio di materia ed energia per un impianto chimico in condizioni stazionarie. Analisi delle correnti principali (alimentazione fresca, combinata, spurgo e ricircolo) e delle apparecchiature principali (miscelatore, partitore, reattore, scambiatore di calore, apparati di separazione). Applicazioni.

### Testi consigliati:

- F.P. FORABOSCHI, *Principi di Ingegneria Chimica*, UTET, Torino (cap.I).  
 R.M. FELDER, R.W. ROUSSEAU, *Elementary Principles of Chemical Processes*, J.Wiley & Sons, New York.  
 O.A. HOUGEN, K.M. WATSON, R.A. RAGATZ, *Principi dei processi chimici*, vol. 1, Casa editrice Ambrosiana.

Appunti del docente.

Esame: l'esame consta in una prova scritta ed in una prova orale.

Propedeuticità obbligatorie: Termodinamica applicata L.

## FONDAMENTI DELL'INGEGNERIA DI PROCESSO L

BO, cds: N

Docente: **Serena Bandini** prof. ass.

L'Insegnamento costituisce un'introduzione all'analisi quantitativa dei processi dell'industria chimica ed, in generale, di quelli di trasformazione utilizzando, a tal fine, il modello di impianto chimico come rete di correnti materiali ed energetiche colleganti un sistema di "scatole nere".

1. L'impianto chimico come sistema.
  - 1.1. I sottosistemi costituenti un impianto chimico: apparati discontinui, continui e semicontinui; apparati a stadi e a contatto continuo. Stato delle correnti materiali e energetiche (variabili chimico-fisiche e di flusso: definizioni, unità di misura, relazioni); cenni sui principali apparati e processi industriali.
  - 1.2. Rappresentazione schematica degli impianti chimici: schemi, grafi, diagrammi a fiume, schemi di processo.
2. L'impianto chimico come sistema di "scatole nere".
  - 2.1. L'equazione integrale di bilancio di una proprietà estensiva: termini di accumulo, convettivi, generativi e di flusso superficiale, base di bilancio.
  - 2.2. Bilanci di materia per un apparato: varie forme dell'equazione; il termine generativo; cambiamento della base di bilancio; applicazioni.
  - 2.3. Determinazione del numero di reazioni stechiometricamente indipendenti tra sostanze assegnate.
  - 2.4. Bilancio di energia per un apparato: varie forme, equazioni semplificate; effetto termico delle reazioni chimiche; applicazioni.
  - 2.5. Bilanci di materia e di energia per un impianto chimico in regime stazionario: numero di gradi di libertà e specifica base, processi con ricicli; applicazioni
  - 2.6. Equilibrio liquido-vapore: temperatura di rugiada, umidità assoluta e relativa. Diagramma psicrometrico.
  - 2.7. Bilanci di energia per sistemi non ideali. Calore integrale di soluzione. Diagramma entalpia-concentrazione.

### Testi consigliati:

Dispense del docente.

F.P. FORABOSCHI, *Principi di Ingegneria Chimica*, UTET, Torino.

D.M. HIMMELBLAU, *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*, Prentice-Hall International, London.

R.M. FELDER, R.W. ROUSSEAU, *Elementary Principles of Chemical Processes*, J. Wiley & Sons, New York.

Esame: l'esame consiste in una prova scritta (obbligatoria) ed in una prova orale.

**FONDAMENTI DI CHIMICA L****BO, cds: Q**Docente: **Corrado Berti** prof. straord.*Finalità del corso*

Il corso si propone di fornire i principi di base della Chimica, con l'intento di conseguire i seguenti obiettivi specifici: comprendere il linguaggio degli argomenti chimici; comprendere il significato di una reazione chimica ed effettuare calcoli stechiometrici; descrivere le caratteristiche chimico-strutturali della materia nei diversi stati di aggregazione; essere in grado di correlare la struttura chimica dei materiali alle loro proprietà; comprendere gli aspetti energetici e cinetici della trasformazioni chimiche.

*Contenuti del corso*

Struttura e proprietà della materia: struttura atomica, struttura elettronica, sistema periodico, legame chimico; stati di aggregazione della materia: solidi, liquidi e gas.

Nomenclatura e principali classi di composti inorganici.

La reazione chimica e calcoli stechiometrici; elementi di termochimica; equilibrio chimico e rendimento di una reazione.

Equilibri tra fasi diverse: introduzione ai diagrammi di stato.

Le soluzioni e le loro proprietà: concentrazione, acidità, basicità e pH.

Cinetica chimica.

Cenni di elettrochimica

*Testi consigliati:*

R.A. MICHELIN, A. MUNARI, *Fondamenti di Chimica*, CEDAM.

P. CHIORBOLI, *Fondamenti di Chimica*, UTET.

P.W. ATKINS, *Chimica Generale*, Zanichelli.

P. MANARESI, E. MARIANUCCI, *Problemi di Chimica per Ingegneria*, Esculapio.

**FONDAMENTI DI CHIMICA L****BO, cds: E**Docente: **Maurizio Toselli** prof. ass.

Il corso si propone di analizzare in modo generale il campo delle proprietà microscopiche e macroscopiche dei sistemi chimici e di descrivere gli aspetti principali delle reazioni chimiche (bilancio di massa, bilancio energetico, velocità di reazione, equilibrio chimico). Particolare rilievo verrà dato allo studio delle proprietà chimico-fisiche di quegli elementi e composti chimici di importanza nelle applicazioni elettroniche.

1. Struttura atomica della materia. Costituzione dell'atomo. Numero atomico, numero di massa, isotopi. Peso atomico e mole.

2. Struttura elettronica degli atomi e sistema periodico degli elementi. Cenni alla teoria dei quanti: effetto fotoelettrico, modello di Bohr e spettri atomici, onde di materia. Orbitali atomici e numeri quantici. Spin dell'elettrone, principio di esclusione di Pauli, regola di Hund. Struttura elettronica degli atomi. Il sistema periodico: gruppi, periodi e serie di transizione. Proprietà periodiche.

3. Legame chimico nelle molecole e nei cristalli. Legame ionico e struttura dei cristalli ionici. Legame covalente: orbitali molecolari nelle molecole biatomiche. Legami semplici e legami mul-

tipi. Molecole polari e apolari. Orbitali ibridi e geometria molecolare. Legame di coordinazione. Legame metallico: teoria delle bande. Conduttori, semiconduttori e isolanti. Legami deboli.

4. Stati di aggregazione della materia. Lo stato gassoso: gas ideali, miscele di gas ideali e legge di Dalton. Lo stato liquido: pressione di vapore, soluzioni ideali e legge di Raoult. Lo stato solido: reticoli cristallini, difetti reticolari, soluzioni solide.

5. Le reazioni chimiche. Formule chimiche e nomenclatura chimica. Tipi di reazioni: bilanciamento delle reazioni di ossidoriduzione. Calcoli stechiometrici.

6. Termodinamica. Energia in gioco nelle reazioni chimiche: reazioni esotermiche e endotermiche. Legge di Hess e sue applicazioni. Reazioni di combustione. Criteri di spontaneità di una reazione chimica. L'energia libera e la costante di equilibrio. Effetto delle variazioni di temperatura, pressione e concentrazione. Calcolo della composizione all'equilibrio e del rendimento di una reazione. Equilibri ionici in soluzione: dissociazione dell'acqua e pH. Acidi e basi.

7. Cinetica chimica. Velocità di reazione. Dipendenza dalla concentrazione: equazione cinetica e ordine di reazione. Dipendenza dalla temperatura: teoria delle collisioni, energia di attivazione, fattore sterico. Catalisi omogenea ed eterogenea.

8. Pile e potenziali elettrodi. Equazione di Nernst. La serie elettrochimica dei potenziali standard. Fenomeni elettrolitici e leggi di Faraday.

*Esame:* Prova scritta ed eventuale orale. La prova orale è indirizzata agli studenti ammessi con riserva (vale a dire con prova scritta non pienamente sufficiente) o a quelli che avendo conseguito un voto pienamente sufficiente nella prova scritta intendono comunque migliorarlo.

### *Testo Consigliato*

E. MICHELIN, A. MUNARI, *Fondamenti di chimica per ingegneria*, Cedam, Padova.

### *Testi di consultazione*

P. CHIORBOLI, *Fondamenti di chimica*, UTET.

P.W. ATKINS, L. JONES, *Chimica generale*, Zanichelli, Bologna.

P. SILVESTRONI, *Fondamenti di chimica*, Veschi, Milano.

Per l'autovalutazione e per l'ausilio nella risoluzione di esercizi

MICHELIN, MOZZON, MUNARI, *Test ed esercizi di chimica*, Cedam, Padova.

Materiale didattico utile alla preparazione dell'esame sarà distribuito durante il corso e sarà inoltre reperibile collegandosi alla seguente pagina web:

<http://www.ing.unibo.it/DICASM/staff/toselli/toselli.htm>

## **FONDAMENTI DI CHIMICA L**

Docente: **Nadia Lotti**, ric.

**CE, cds: clb**

**Struttura atomica della materia.** L'atomo e i suoi costituenti: elettrone, protone, neutrone. Gli elementi: il numero atomico e il numero di massa; gli isotopi. Masse atomiche assolute e relative. La mole ed il numero di Avogadro. I composti. Formula minima, formula molecolare e formula di struttura di un composto. Nomenclatura IUPAC per i composti inorganici più comuni. Princi-

pali classi di composti inorganici.

**Struttura elettronica degli atomi.** Il principio di indeterminazione e le onde di De Broglie. La meccanica ondulatoria. Numeri quantici e orbitali. L'atomo di idrogeno nella meccanica ondulatoria. La struttura degli atomi polielettronici. Lo spin dell'elettrone: il principio di esclusione di Pauli e la regola di Hund. Le configurazioni elettroniche degli atomi.

**La classificazione periodica degli elementi.** La tavola periodica e le proprietà periodiche degli elementi.

**Il legame chimico.** Parametri della struttura molecolare. Classificazione dei legami chimici. Il legame ionico e l'energia reticolare. La valenza ionica. Il legame covalente: legami semplici e multipli. Orbitali ibridi e geometria molecolare. Polarità delle molecole. La teoria degli orbitali molecolari (cenni). Il legame metallico. La teoria delle bande. Conduttori, isolanti e semiconduttori. I legami deboli.

**Le reazioni chimiche.** L'equazione stechiometrica ed il suo significato quantitativo. Tipi di reazioni; le reazioni di ossidoriduzione. Il numero di ossidazione ed il suo calcolo. Bilanciamento delle reazioni di ossidoriduzione. Calcoli stechiometrici.

**Gli stati di aggregazione della materia.** Lo stato gassoso: il modello del gas ideale e l'equazione di stato dei gas perfetti, miscele di gas ideali. I gas reali (cenni). Lo stato liquido: le soluzioni; modi di esprimere le concentrazioni delle soluzioni; unità fisiche ed unità chimiche. Calcoli sulle concentrazioni delle soluzioni. Lo stato solido: cristalli ionici, covalenti, molecolari e metallici.

**Termochimica.** La funzione di stato entalpia. Entalpie di formazione; stati standard ed entalpie standard. Entalpie di combustione. Legge di Hess e sue applicazioni.

**Cinetica chimica.** Definizione della velocità di reazione. Le equazioni cinetiche e gli ordini di reazione. Meccanismi di reazione e moleolarità dei processi elementari. Influenza della temperatura sulla velocità di reazione: l'equazione di Arrhenius. L'energia di attivazione ed il fattore sterico. La catalisi: catalizzatori e inibitori. Proprietà dei catalizzatori: attività, stabilità e selettività. Catalisi omogenea e catalisi eterogenea.

**Equilibrio chimico.** L'equilibrio chimico dal punto di vista cinetico; la costante di equilibrio K. Varie espressioni di K. Equilibrio nei sistemi omogenei e nei sistemi eterogenei. Spostamento dell'equilibrio. Equilibri in soluzione acquosa. Autoprotolisi dell'acqua. Soluzioni acide, basiche e neutre: il concetto di pH. Gli acidi e le basi. La forza degli acidi e delle basi. Il calcolo del pH. Le soluzioni tampone.

**Chimica organica** Cenni sui principali composti organici.

*Testi consigliati:*

R. A. MICHELIN, A. MUNARI, *Fondamenti di Chimica per le Tecnologie*, I ed. Cedam (PD) (2002).  
R. A. MICHELIN, M. MOZZON, A. MUNARI, *Test ed esercizi di Chimica*, ed. Cedam (PD).

**FONDAMENTI DI CHIMICA L**

Docente: **Maurizio Fiorini** prof. ass.

**BO, cds: R**

**La struttura atomica della materia** La materia: atomi e molecole. Pesi atomici relativi e assoluti; l'unità di massa atomica. La mole ed il numero di Avogadro. La struttura dell'atomo: il modello di Rutherford.

**Il nucleo dell'atomo**

I componenti del nucleo: protoni e neutroni. Il numero atomico e il numero di massa; gli iso-

topi. Nuclidi stabili e radionuclidi; cenni sul decadimento radioattivo e sulle emissioni  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ ,  $\gamma$  e la cattura K. Il tempo di dimezzamento. Il difetto di massa: equivalenza massa-energia ed energia di legame tra i nucleoni.

### **La struttura elettronica degli atomi**

La nascita della teoria dei quanti. La natura dualistica della luce e della materia, il principio di indeterminazione di Heisenberg e le onde di De Broglie. Numeri quantici e orbitali atomici. L'atomo di idrogeno secondo la meccanica ondulatoria. La rappresentazione degli orbitali. La struttura degli atomi polielettronici: lo spin dell'elettrone, il principio di esclusione di Pauli e la regola di Hund. Rappresentazione della struttura elettronica nello stato fondamentale dei principali elementi. Dalla Tavola di Mendeleev alla moderna classificazione periodica degli elementi: le proprietà periodiche.

### **Il legame chimico**

Il concetto di legame chimico e di energia di legame. I vari tipi di legame chimico. Il legame ionico e l'energia reticolare. Proprietà dei solidi ionici. Il legame covalente; i legami semplici e i legami multipli: legami di tipo  $\sigma$  e di tipo  $\pi$ . Le formule di struttura. Legami covalenti polari; molecole polari ed apolari. La valenza degli elementi. Gli orbitali ibridi e la geometria molecolare. Cenni alla teoria VSEPR. La teoria degli orbitali molecolari e la sua applicazione a semplici molecole biatomiche omonucleari. Il legame metallico: proprietà principali dei solidi metallici; il modello a bande nei solidi. Conduttori, isolanti e semiconduttori I legami deboli: il legame a idrogeno; interazioni di Van der Waals.

### **Le reazioni chimiche**

Significato quantitativo delle formule chimiche. L'equazione stechiometrica e il suo significato. Bilanciamento delle reazioni (senza e con trasferimento di elettroni). Calcoli stechiometrici. La nomenclatura tradizionale e quella IUPAC per i composti inorganici più comuni.

### **Gli stati di aggregazione della materia**

Lo stato gassoso: il modello del gas ideale e l'equazione di stato dei gas perfetti. Cenni alla teoria cinetica dei gas e alla legge di distribuzione delle velocità molecolari. I gas reali: l'equazione di stato di Van der Waals.

Lo stato liquido. Le proprietà dei liquidi: tensione superficiale e viscosità. La pressione di vapore e la temperatura di ebollizione. La solubilità di un gas in un liquido Le soluzioni: i diversi modi di esprimerne la composizione.

Lo stato solido: solidi amorfi e solidi cristallini; il reticolo cristallino e la cella elementare. Le strutture cristalline compatte: EC, CCC, CFC. Allotropia e polimorfismo; isomorfismo. Le caratteristiche principali dei vari tipi di solidi cristallini (metallici, ionici, molecolari, covalenti, a strati e catene).

### **Termodinamica**

Sistemi termodinamici e variabili di stato. Il primo principio: equivalenza tra lavoro e calore; l'energia interna e l'entalpia. I calori molari a pressione e a volume costante. Termochimica: le equazioni termochimiche; entalpie standard di reazione, di formazione e di combustione. La legge di Hess e sue applicazioni. Disordine, entropia e probabilità termodinamica di stato. Criteri di spontaneità di una reazione; il contributo del fattore energetico e di quello entropico: l'energia libera di Gibbs.

### **L'equilibrio chimico**

Condizioni di equilibrio per una reazione chimica. La legge dell'azione di massa e la costante di equilibrio K con le sue varie espressioni. Lo spostamento dell'equilibrio: la legge dell'equilibrio mobile e il principio di Le Chatelier.

### **Equilibri ionici in soluzione**

L'autoprotolisi dell'acqua. Soluzioni acide, neutre e basiche. La scala del pH. Acidi e basi secondo Arrhenius e Brønsted e Lowry. Le reazioni acido-base. La forza di un acido e quella della



sua base coniugata. Calcolo del pH di soluzioni acquose di acidi e basi forti e deboli. Relazione tra struttura e proprietà acido-base dei composti (ossidi, idrossidi e idruri). Il prodotto di solubilità; l'effetto dello ione comune sulla solubilità.

### Cinetica chimica

La velocità di reazione e la sua espressione. L'equazione cinetica nella sua forma canonica: limiti di validità. Gli ordini parziali e l'ordine totale di reazione. Meccanismi di reazione e molecolarità dei processi elementari. Effetto della temperatura sulla velocità di reazione: l'equazione di Arrhenius; la sua interpretazione attraverso la teoria delle collisioni molecolari. Il complesso attivato e l'energia di attivazione. I catalizzatori; catalisi omogenea e catalisi eterogenea: cenni sui meccanismi.

### Testi consigliati:

P.W. ATKINS, L. JONES, *Principi di Chimica*, Zanichelli, Bologna (2002).

R.A. MICHELIN, A. MUNARI, *Fondamenti di Chimica per le Tecnologie*, Cedam, Padova, I Ed. (2002).

P. SILVESTRONI, *Fondamenti di Chimica*, Veschi, Milano.

S.S. ZUMDAHL, *Chimica*, Zanichelli, Bologna.

Per l'autovalutazione e per l'ausilio nella risoluzione degli esercizi:

test ed esercizi proposti nei vari testi di riferimento;

R.A. MICHELIN, M. MOZZON, A. MUNARI, *Test ed Esercizi di Chimica*, Cedam, Padova, III Ed. (1998).

P. MANARESI, E. MARIANUCCI, *Problemi di Chimica per Ingegneria*, Esculapio, Bologna (1997).

Modalità d'esame: prova scritta intermedia e prova scritta finale. Prova orale facoltativa

Iscrizione nelle liste d'esame predisposte sul sito UNIWEX.

## FONDAMENTI DI CHIMICA L

FO, cds: cla,clm

Docente: Elisabetta Marianucci ric.

Struttura atomica della materia. L'atomo e i suoi costituenti: elettrone, protone, neutrone. Gli elementi: il numero atomico e il numero di massa; gli isotopi. Masse atomiche assolute e relative. La mole ed il numero di Avogadro. I composti. Formula minima, formula molecolare e formula di struttura di un composto. Nomenclatura IUPAC per i composti inorganici più comuni. Principali classi di composti inorganici.

Struttura elettronica degli atomi. Il principio di indeterminazione e le onde di De Broglie. La meccanica ondulatoria. Numeri quantici e orbitali. L'atomo di idrogeno nella meccanica ondulatoria. La struttura degli atomi polielettronici. Lo spin dell'elettrone: il principio di esclusione di Pauli e la regola di Hund. Le configurazioni elettroniche degli atomi.

La classificazione periodica degli elementi. La tavola periodica e le proprietà periodiche degli elementi.

Il legame chimico. Parametri della struttura molecolare. Classificazione dei legami chimici. Il legame ionico e l'energia reticolare. La valenza ionica. Il legame covalente: legami semplici e multipli. Orbitali ibridi e geometria molecolare. Polarità delle molecole. La teoria degli orbitali molecolari (cenni). Il legame metallico. La teoria delle bande. Conduttori, isolanti e semiconduttori. I legami deboli.

Le reazioni chimiche. L'equazione stechiometrica ed il suo significato quantitativo. Tipi di

reazioni; le reazioni di ossidoriduzione. Il numero di ossidazione ed il suo calcolo. Bilanciamento delle reazioni di ossidoriduzione. Calcoli stechiometrici.

**Gli stati di aggregazione della materia.** Lo stato gassoso: il modello del gas ideale e l'equazione di stato dei gas perfetti, miscele di gas ideali. I gas reali (cenni). Lo stato liquido: le soluzioni; modi di esprimere le concentrazioni delle soluzioni; unità fisiche ed unità chimiche. Calcoli sulle concentrazioni delle soluzioni. Lo stato solido: cristalli ionici, covalenti, molecolari e metallici.

**Termochimica.** La funzione di stato entalpia. Entalpie di formazione; stati standard ed entalpie standard. Entalpie di combustione. Legge di Hess e sue applicazioni.

**Cinetica chimica.** Definizione della velocità di reazione. Le equazioni cinetiche e gli ordini di reazione. Meccanismi di reazione e molecolarità dei processi elementari. Influenza della temperatura sulla velocità di reazione: l'equazione di Arrhenius. L'energia di attivazione ed il fattore sterico. La catalisi: catalizzatori e inibitori. Proprietà dei catalizzatori: attività, stabilità e selettività. Catalisi omogenea e catalisi eterogenea.

**Equilibrio chimico.** L'equilibrio chimico dal punto di vista cinetico; la costante di equilibrio  $K$ . Varie espressioni di  $K$ . Equilibrio nei sistemi omogenei e nei sistemi eterogenei. Spostamento dell'equilibrio. Equilibri in soluzione acquosa. Autoprotolisi dell'acqua. Soluzioni acide, basiche e neutre: il concetto di pH. Gli acidi e le basi. La forza degli acidi e delle basi. Il calcolo del pH.

**Equilibri tra fasi diverse e diagrammi di stato.** La regola delle fasi. Sistemi ad un componente: l'equazione di Clausius-Clapeyron (cenni), diagramma di stato dell'acqua e del diossido di carbonio. Sistemi a due componenti: diagrammi di stato per sistemi a due componenti.

**Elettrochimica.** Le pile: generalità sulle pile, tipi di semielementi, rappresentazione schematica di una pila. La serie elettrochimica dei potenziali standard. Fenomeni elettrolitici (cenni). I processi di corrosione dei metalli.

#### *Testi consigliati:*

R.A. MICHELIN, A. MUNARI, *Fondamenti di Chimica per le Tecnologie*, ed. Cedam (PD).

R.A. MICHELIN, M. MOZZON, A. MUNARI, *Test ed esercizi di Chimica*, ed. Cedam (PD).

## **FONDAMENTI DI CHIMICA L**

**BO, cds: N**

Docente: **Andrea Munari** prof. straord.

La struttura atomica della materia. La struttura del nucleo atomico e la radioattività. Le configurazioni elettroniche degli atomi e la moderna classificazione periodica degli elementi. I vari tipi di legame chimico: legame ionico, covalente e metallico. I legami deboli. L'equazione stechiometrica e il suo significato. La nomenclatura dei composti inorganici ed organici più comuni. Le reazioni di ossidoriduzione e loro bilanciamento. Calcoli stechiometrici.

Lo stato gassoso: l'equazione di stato dei gas perfetti. Le miscele di gas ideali. Cenni al comportamento dei gas reali. La temperatura critica. Lo stato liquido. L'equilibrio liquido-vapore: la pressione di vapore e la temperatura di ebollizione. Le soluzioni: i diversi modi di esprimerne la composizione. Lo stato solido: le caratteristiche principali dei solidi metallici, ionici, molecolari, covalenti. La regola delle fasi. L'equazione di Clausius-Clapeyron ed i diagrammi di stato di una sostanza pura. Principali tipi di diagrammi di stato a due componenti

La velocità di reazione e l'equazione cinetica. Meccanismi di reazione. L'equilibrio chimico da un punto di vista cinetico. Effetto della temperatura sulla velocità di reazione. I catalizzatori. Termochimica. La legge di Hess. Le reazioni di combustione. L'equilibrio chimico: espressioni

della costante di equilibrio per sistemi gassosi ideali. Calcolo della composizione all'equilibrio. Lo spostamento dell'equilibrio.

Equilibri ionici in soluzione. Acidi e basi secondo Bronsted e Lowry. Soluzioni acide, neutre e basiche: il pH di una soluzione. Il prodotto di solubilità.

Cenni di Elettrochimica.

Modalità di esame: prova orale.

### Testi Consigliati

R.A. MICHELIN, A. MUNARI, *Fondamenti di Chimica per le Tecnologie*, I Edizione, Cedam, Padova, (2002).

R.A. MICHELIN, M. MOZZON, A. MUNARI, *Test ed Esercizi di Chimica*, III Edizione, Cedam, Padova, (2000).

## FONDAMENTI DI CHIMICA LA

BO, cds: L,T, I

Docente: Agostino Desalvo prof. ass.

L'insegnamento si propone: a) di inquadrare in modo del tutto generale le proprietà dei sistemi chimici analizzando la struttura elettronica degli atomi e delle molecole; b) di descrivere gli aspetti principali delle reazioni chimiche (bilancio di massa, bilancio energetico, velocità di reazione, equilibrio chimico).

**1. Struttura atomica della materia.** Costituzione dell'atomo. Numero atomico, numero di massa, isotopi. Peso atomico e mole.

**2. Struttura elettronica degli atomi e sistema periodico degli elementi.** Cenni alla teoria dei quanti: effetto fotoelettrico, modello di Bohr e spettri atomici, onde di materia. Orbitali atomici e numeri quantici. Spin dell'elettrone, principio di esclusione di Pauli, regola di Hund. Struttura elettronica degli atomi. Il sistema periodico: gruppi, periodi e serie di transizione. Proprietà periodiche.

**3. Legame chimico nelle molecole e nei cristalli.** Legame ionico e struttura dei cristalli ionici. Legame covalente: orbitali molecolari nelle molecole biatomiche. Legami semplici e legami multipli. Molecole polari e apolari. Orbitali ibridi e geometria molecolare. Legame di coordinazione. Legame metallico: teoria delle bande. Conduttori, semiconduttori e isolanti. Legami deboli.

**4. Stati di aggregazione della materia.** Lo stato gassoso: gas ideali, miscele di gas ideali e legge di Dalton. Lo stato liquido: pressione di vapore, soluzioni ideali e legge di Raoult. Lo stato solido: reticoli cristallini, difetti reticolari, soluzioni solide.

**5. Le reazioni chimiche.** Formule chimiche e nomenclatura chimica. Tipi di reazioni: bilanciamento delle reazioni di ossidoriduzione. Calcoli stechiometrici.

**6. Termodinamica chimica.** Energia in gioco nelle reazioni chimiche: reazioni esotermiche e endotermiche. Legge di Hess e sue applicazioni. Reazioni di combustione. Entropia: cenni all'interpretazione statistica e al calcolo dell'entropia mediante il III principio della termodinamica. Energia libera.

**7. Equilibrio chimico.** Energia libera e costante di equilibrio. Effetto delle variazioni di temperatura, pressione e concentrazione. Calcolo della composizione all'equilibrio e del rendimento di una reazione. Equilibri ionici in soluzione: dissociazione dell'acqua, acidi e basi, calcolo del pH. Applicazione al calcolo della concentrazione degli elettroni nei semiconduttori.

**8. Cinetica chimica.** Velocità di reazione. Dipendenza dalla concentrazione: equazione cinetica e ordine di reazione. Dipendenza dalla temperatura: teoria delle collisioni, energia di attivazione, fattore sterico. Catalisi omogenea ed eterogenea.

*Testi consigliati:*

R.A. MICHELIN e A. MUNARI, *Fondamenti di Chimica per Ingegneria*, Ed. CEDAM, 1998.

Appunti integrativi a cura del docente

P. MANARESI e E. MARIANUCCI, *Problemi di Chimica per Ingegneria*, Ed. Esculapio, 1997.

R.A. MICHELIN, M. MOZZON e A. MUNARI, *Test e Esercizi di Chimica*, Ed. CEDAM, 1997.

*Modalità Esami:* scritto + (eventuale) orale.

## FONDAMENTI DI CHIMICA LB

BO, cds: L, T

Docente: Agostino Desalvo prof. ass.

L'Insegnamento si propone: a) di sviluppare in modo approfondito lo studio del legame chimico e delle proprietà elettriche, ottiche e magnetiche dei solidi, in relazione alla posizione dei costituenti nel sistema periodico; b) di introdurre le nozioni fondamentali di termodinamica e cinetica chimica e di applicarle allo studio dei processi che avvengono nei materiali di interesse elettronico.

**1. Struttura elettronica degli atomi e sistema periodico degli elementi.** Cenni alla teoria dei quanti: effetto fotoelettrico, modello di Bohr e spettri atomici, onde di materia. Equazione di Schrödinger: la particella libera e la particella in una scatola. Orbitali atomici e numeri quantici. Struttura elettronica degli atomi: principio di Pauli e regola di Hund.. Proprietà periodiche degli elementi.

**2. Struttura dei cristalli.** Reticoli cristallini. Reticolo reciproco. Tecniche di diffrazione per lo studio dei cristalli. Difetti reticolari nei cristalli.

**3. Legame chimico nelle molecole e nei cristalli.** Strutture delle molecole più semplici: orbitali molecolari. Isolanti ionici. Orbitali ibridi e semiconduttori. Metalli: modello dell'elettrone libero. Teoria delle bande: relazione tra struttura a bande e tipo di legame. Modello di Bohr degli stati elettronici delle impurezze nei semiconduttori. Proprietà elettriche e ottiche dei materiali. Cenni ai composti dei metalli di transizione e dei lantanidi: proprietà ottiche e magnetiche.

**4. Termodinamica chimica ed equilibrio chimico.** Termochimica: entalpia di formazione e di combustione, energia di legame. Entropia: interpretazione statistica e calcolo dell'entropia mediante il III principio della termodinamica. Energia libera, potenziale chimico e equilibrio chimico. Applicazioni al calcolo della concentrazione dei difetti nei solidi e degli elettroni nei semiconduttori. Potenziale elettrochimico e giunzione *p-n*.

**5. Cinetica chimica.** Velocità di reazione. Dipendenza dalla concentrazione: reazioni monomolecolari e bimolecolari. Applicazione ai processi di ricombinazione dei portatori di carica. Dipendenza della temperatura: energia di attivazione. Processi di diffusione. Applicazione allo studio delle reazioni di ossidazione nei semiconduttori.

*Testi:*

Appunti a cura del docente.

**FONDAMENTI DI INFORMATICA L**

FO, cds: cla, clm

Docente: Stefano Simonini prof. inc.

**Finalità**

L'insegnamento è rivolto agli studenti del primo anno del corso di laurea in ingegneria meccanica ed aerospaziale. Allo scopo di far comprendere, almeno in linea di principio e sotto l'aspetto esclusivamente logico, le operatività dei dispositivi che stanno alla base del funzionamento di ogni sistema digitale d'elaborazione, segue un percorso didattico che, prendendo avvio dallo studio dell'algebra di Boole, fornisce le nozioni fondamentali relative alle reti logiche, giunge all'architettura di un generico microprocessore e si conclude con lo studio della sintassi di un linguaggio ad alto livello.

**Programma**

Algebra di Boole: postulati e teoremi. Variabili e costanti. Operatori logici. Porte logiche fondamentali e tabelle di verità. Porte universali. Funzioni logiche. Funzioni di una e due variabili. Reti logiche. Analisi. Forma canonica. Sintesi. Minimizzazione algebrica. Mappe di Karnaugh e caselle adiacenti. Minimizzazione mediante le mappe di Karnaugh. Minimizzazione con il metodo di Quine-Mc Cluskey.

Sistemi posizionali di numerazione. L'operazione del contare in base qualunque. Conversione di un numero da base qualunque a base 10 e viceversa. Conversione di un numero da binario ad ottale, ad esadecimale e viceversa. Codice BCD. Codice ASCII. Codice Gray. Operazioni tra numeri espressi in base qualunque. Addizione. Sottrazione. Sottrazione in complemento. Moltiplicazione. Divisione. Artificio per l'esecuzione dell'addizione in codice BCD. Operazioni tra numeri relativi. Numeri frazionari. Conversione di un numero frazionario da base 10 a base qualunque e viceversa. Conversione di un numero frazionario binario ad ottale, ad esadecimale e viceversa. Semisommatore (*half-adder*) e sommatore completo (*full-adder*). Applicazioni del sommatore. Codificatore e decodificatore. Comparatore. Multiplexer e demultiplexer. Generatori di parità. Latch. Cella elementare di memoria. Macchina sequenziale. Transizioni tra stati. *Flip-flop* SR, JK e *master slave*. Divisori di frequenza e contatori. Registri. Dispositivi di memoria. Struttura di una ROM e di una RAM. Microprocessore. Bus. Segmentazione della memoria. Registri e code. Il controllore a logica cablata e a logica programmabile. Il PLC. Linguaggi e tecnica di programmazione per il PLC. Cenni al linguaggio macchina ed alle istruzioni *assembler*. Logica combinatoria programmabile. Linguaggi ad alto livello. Costruzione di algoritmi. Caratteristiche del C++. I commenti. Il preprocessore. Variabili ed identificatori. Funzioni e prototipi. Operatori aritmetici. Operatori relazionali e logici. Strutture fondamentali. Istruzioni di controllo *if*, *if-else-if*. Il ciclo *for*. L'istruzione *switch*. Il ciclo *while*. Il ciclo *do-while*. Uso di *continue* e di *break* per uscire dai cicli. *Array* ad una, due e più dimensioni. *Array* di stringhe. Parametri formali e variabili globali. Argomenti di *main* (). Funzione *void*. Codifica di algoritmi in C++.

**Esame:** prova scritta e orale.

**FONDAMENTI DI INFORMATICA L**

BO, cds: N

Docente: Vittorio Colombo prof. straord.

**I. Lezioni teoriche**

1. *Aritmetica del calcolatore ed errori in calcolo numerico*. Problema fisico, problema matematico, problema numerico ed errori di idealizzazione; sistemi di numerazione; rappresentazione

dei numeri nel calcolatore; virgola mobile e numeri di macchina; errori di arrotondamento ed operazioni di macchina; errori assoluti e relativi; decimali esatti e cifre significative; cancellazione numerica; problemi numerici ed algoritmi; errori sui dati di ingresso e condizionamento di un problema numerico; errori di troncamento di un processo iterativo; stabilità di un algoritmo.

2. *Richiami sulle matrici.* Operazioni tra matrici; matrici con proprietà particolari; matrici di permutazione di righe e colonne di matrici; matrici diagonali, tridiagonali, a banda, simmetriche, a diagonale dominante; matrici non singolari; norme di vettore e di matrice; norme compatibili.

3. *Soluzione numerica di sistemi lineari non omogenei.* Richiami sulla risoluzione con metodo di Cramer; stima del numero di operazioni; condizionamento del problema; metodi diretti e metodi iterativi; matrici di tipo Vandermonde; metodi diretti: il metodo di eliminazione di Gauss; pivoting parziale; decomposizione di Gauss e fattorizzazione LU; matrici di permutazione P e matrici di combinazione lineare M; metodo della doppia passata per matrici tridiagonali; metodi iterativi: il metodo di Jacobi; il metodo di Gauss-Seidel; condizioni di convergenza; il metodo SOR; criteri di convergenza.

4. *Soluzione numerica di equazioni non lineari.* Condizionamento del problema; metodi per la ricerca di radici reali di equazioni non lineari; metodo di bisezione; metodo della "regola falsi"; metodo delle secanti; metodo delle tangenti o di Newton; ordine di convergenza di un metodo iterativo; criteri di convergenza basati sulla funzione e sulla radice; metodo iterativo della ricerca del punto fisso; condizioni per la convergenza del processo iterativo; sistemi di equazioni non lineari; metodo di Newton e sue varianti.

5. *Approssimazione di funzioni e dati.* Campi di utilizzo dei metodi di approssimazione; classi funzionali delle funzioni approssimanti insieme di dati (sperimentali o sperimentali numerici); interpolazione polinomiale; polinomi fondamentali di Lagrange; polinomio di interpolazione di Lagrange ed errore associato; interpolazione polinomiale e matrici di Vandermonde; metodo dei minimi quadrati per la approssimazione di dati; equazioni normali del metodo.

6. *Metodi numerici per il calcolo di integrali definiti.* Formule di quadratura di tipo interpolatorio; pesi e nodi della formula di quadratura; calcolo dei pesi con sistemi di tipo Vandermonde; grado di precisione di una formula di quadratura; formule di tipo interpolatorio pesate; formule di tipo Newton-Cotes; formula dei trapezi; formula di Simpson; formule dei trapezi e Simpson ripetute su N sottointervalli; accenni alle formule di quadratura di tipo gaussiano.

## II. Esercitazioni al calcolatore

Esercitazioni al calcolatore vengono eseguite su tutti gli argomenti del corso in ambito di programmazione con MATLAB.

### Testi consigliati

Dispense del docente

MONEGATO G., *100 pagine di elementi di calcolo numerico*, Libreria Universitaria Levrotto & Bella, Torino, 1995.

## FONDAMENTI DI INFORMATICA LA

Docenti: Michela Milano prof. ass.

BO, cds: T

### Obiettivi dell'Insegnamento

Fornire le conoscenze di base sull'architettura di un elaboratore elettronico. Saper esprimere la soluzione a un piccolo problema (algoritmo) e codificarlo in un linguaggio di programmazione (C) Saper costruire un singolo componente software che rispecchi una certa specifica

**Programma**

- 1) La macchina di Von Neumann, architettura di un elaboratore sequenziale.
- 2) Linguaggi di programmazione di alto livello. Ambienti di programmazione. Cenni sulla struttura di compilatori ed interpreti.
- 3) Progetto e definizione di algoritmi. Metodologie di programmazione strutturata e modulare.
- 4) Il linguaggio C. Variabili e costanti. Tipi scalari predefiniti. Dati e tipi di dato scalari e strutturati. Istruzioni di assegnamento e strutture di controllo. Funzioni. Iterazione e ricorsione. Meccanismi di trasferimento dei parametri. Record di attivazione. Strutture di dati. File di testo.

Esame prova di laboratorio ed esame scritto.

**Bibliografia obbligatoria**

Saranno disponibili copie dei lucidi con l'indicazione di riferimenti bibliografici sia al centro fotocopie della biblioteca sia su web all'indirizzo:  
<http://lia.deis.unibo.it/Courses/FondA0102-TLC/>.

**FONDAMENTI DI INFORMATICA LA**

Docenti: **Paola Mello** prof. ord.  
**Paolo Bellavista** ric.

BO, cds: I (A-E)  
 BO, cds: I (F-Z)

**Obiettivo formativo:** conoscere i principi base dell'informatica, formazione di schemi mentali e acquisizione di tecniche e metodologie per la risoluzione di problemi a livello algoritmico, usando uno specifico linguaggio di programmazione come strumento per la realizzazione concreta di questi schemi e tecniche.

**Abilità in uscita:** capacità di impostare il progetto e la realizzazione di un algoritmo utilizzando il C come linguaggio di programmazione. Capacità di impostare programmi secondo principi di organizzazione modulare. Il Corso è strettamente integrato con il Corso di laboratorio

**Programma:** concetti di base sui sistemi di elaborazione programmati e sui linguaggi macchina e sui linguaggi di programmazione ad alto livello, il linguaggio C: valori, tipi, costanti, variabili, puntatori, istruzioni di controllo, funzioni, procedure, vettori, stringhe, liste, strutture, files. Organizzazione dei programmi sorgente su più files. Principi fondamentali di progetto e sviluppo di algoritmi. Iterazione e ricorsione. Tipi di dato astratto. Organizzazione della macchina virtuale del C. Rappresentazione run-time dei programmi e del record di attivazione delle funzioni. Allocazione dinamica della memoria di scalari, strutture ed array.

**Organizzazione didattica:**

lezioni: 40 ore

esercitazioni 20

lavoro individuale medio previsto: 60 ore

**Metodo di valutazione:** durante il corso è prevista una prova intermedia per valutare in itinere se lo studente sta assimilando i concetti e sta acquisendo la capacità progettuale. Al termine del periodo didattico è prevista una prova finale, da svolgersi in aula. In tale prova occorre dimostrare di aver assimilato i principi di base e saper risolvere problemi mediante costruzione di programmi in C.

**Materiale Didattico:**

- Diapositive proiettate a lezione consultabili sul sito Web e disponibili al centro fotocopie della biblioteca

*Manuali Linguaggio C*

KELLEY, POHL. "C: Didattica e Programmazione", Addison-Wesley, Milano, 1996.

BELLINI, GUIDI. "Guida al Linguaggio C", McGraw Hill, Milano, 1994.

H.M.DEITEL, J DEITEL. "C; Corso Completo di Programmazione", Apogeo, 2000.

*Generali*

CERI, MANDRIOLI, SBATELLA. "Informatica: arte e mestiere", McGraw Hill, 1999.

**FONDAMENTI DI INFORMATICA LA****BO, cds: G\_BO (A, K), P (A, K)**Docente: **Maria Rita Scalas** prof. straord.*Obiettivi dell'Insegnamento*

Fornire le conoscenze di base sulla teoria della computabilità, sull'architettura di un elaboratore elettronico, sulle metodologie e sugli strumenti per la definizione, lo sviluppo la verifica di programmi.

*Programma*

1) Introduzione alla teoria della computabilità, classi di problemi, concetto di algoritmo, complessità, automi, automi a stati finiti, macchina di Turing.

2) La macchina di Von Neumann, architettura di un elaboratore sequenziale. Rappresentazione e manipolazione delle informazioni nei sistemi di elaborazione. Rappresentazione interna dei numeri ed errori. Codici. Algebra di Boole e Calcolo Proposizionale.

3) Linguaggi di programmazione di alto livello: sintassi e semantica. Grammatiche loro classificazione secondo Chomsky. Cenni sulla struttura di compilatori ed interpreti linguaggi di programmazione.

4) Progetto, definizione e verifica di correttezza ed analisi della complessità di algoritmi. Iterazione e ricorsione. Stili di programmazione imperativo e funzionale. Metodologie di programmazione strutturata e modulare. Strutture di dati: tecniche per l'organizzazione e la gestione di tabelle, liste, pile, code, alberi ed archivi.

5) Il linguaggio C. Variabili e costanti. Tipi scalari predefiniti. Dati e tipi di dato scalari e strutturati. Istruzioni di assegnamento e strutture di controllo. Funzioni. Meccanismi di trasferimento dei parametri. Record di attivazione. Strutture di dati statiche e dinamiche. Il concetto di heap. Progetto e realizzazione di algoritmi e sistemi software.

*Testi consigliati:*

S. CERI, D. MANDRIOLI, L. SBATELLA, *Informatica Istituzioni/Ansi C*, McGraw-Hill, 1994.

Saranno inoltre disponibili copie dei lucidi e dispense con l'indicazione di altri riferimenti bibliografici.

*Esame:* scritto e orale.



**FONDAMENTI DI INFORMATICA LA****BO, cds: M**Docente: **Jorge E. Fernández** prof. ass.*Scopo del corso*

- Fornire uno strumento di approccio alla risoluzione di problemi con il calcolatore
- Mettere a disposizione due linguaggi di programmazione (il FORTRAN 77 ed il C++) per la traduzione degli algoritmi di risoluzione in programmi per il calcolatore.
- Analizzare alcuni problemi semplici di calcolo numerico ed approfondire gli algoritmi che li risolvono.

*Programma:*

- Struttura generale di un calcolatore elettronico.
- Elementi di programmazione. Metodi per l'analisi di un problema. Definizioni, proprietà e rappresentazione degli algoritmi di risoluzione.
- Il linguaggio FORTRAN 77. Organizzazione dei programmi. Tecnica per la ricerca degli errori. Cenni sulle strutture dei dati.
- Il linguaggio C++. Organizzazione dei programmi. Cenni sulle strutture dei dati.
- Elementi di calcolo numerico. Tipi di errori. Differenziazione numerica. Integrazione numerica. Calcolo degli integrali (metodi dei trapezi, di Simpson, di Gauss-Legendre, di Monte Carlo). Errori nel calcolo dell'integrale. Zeri di una funzione (metodo di bisezione, delle tangenti, della falsa posizione, delle corde, di Aitken).

Le lezioni vengono integrate con una serie di esercitazioni pratiche con il calcolatore.

*Modalità di esame:*

L'esame è composto di una prova scritta, consistente nello sviluppo di un programma FORTRAN su uno degli algoritmi studiati durante il corso con verifica di esecuzione sul calcolatore, e di una interrogazione orale sugli argomenti del corso.

*Testi obbligatori:*

G. AGUZZI, M.G. GASPARO, M. MACCONI. *FORTRAN 77. Uno strumento per il calcolo scientifico.* Pitagora Editrice. Bologna.

*Testi integrativi:*

Per gli studenti interessati ad approfondire gli argomenti di analisi numerica in un ambiente FORTRAN si consiglia la consultazione del testo:

G. MONEGATO. *Fondamenti di Calcolo Numerico.* Levrotto e Bella. Torino.

W. PRESS, S.A. TEUKOLSKY, W.J. VETTERLING, B.P. FLANNERY. *Numerical Recipes in FORTRAN. The Art of Scientific Computing.* 2<sup>nd</sup> Ed. Cambridge University Press (Cambridge, 1992).

**FONDAMENTI DI INFORMATICA LA****CE, cds: dui, dut, dul, clb**Docente: **Antonio Natali** prof. ord.*Obiettivi del corso*

L'obiettivo principale del corso è introdurre concetti e conoscenze fondamentali nella formazione di un solido impianto metodologico per il progetto, la costruzione e verifica di algoritmi e sistemi software. Esso costituisce il primo passo di un percorso che ha altre tappe fondamentali

nei corsi di **Fondamenti di Informatica L-B** e di **Ingegneria del Software**.

Più specificatamente il corso intende:

- *introdurre concetti fondamentali sulla organizzazione dei moderni sistemi di elaborazione, dai personal computer ai web*
- *fornire conoscenze tecniche, metodologiche e concettuali per il progetto e la realizzazione di algoritmi e semplici sistemi software*
- *fornire la capacità di scrivere e verificare il funzionamento di algoritmi utilizzando il linguaggio Java*
- *fornire conoscenze utili alla ricodifica in C degli algoritmi espressi in Java*
- *fornire conoscenze utili a comprendere il funzionamento a tempo di esecuzione dei programmi e introdurre nozioni fondamentali di computabilità e complessità*

### **Prerequisiti**

Sono richieste solo conoscenze elementari di logica e di matematica.

Poiché il corso intende costituire una introduzione alla moderna progettazione e costruzione di algoritmi e sistemi software e alla comprensione del loro funzionamento, esso dovrebbe fornire elementi utili e innovativi anche per chi abbia già conoscenze sui linguaggi (inclusi C e Java) e sulle tecniche di programmazione.

### **Organizzazione del corso**

Seguendo un approccio top-down, il corso è articolato in due fasi.

Nella prima fase si introducono i concetti fondamentali per la risoluzione di problemi mediante elaboratore, per l'organizzazione di sistemi software strutturati ad oggetti e per il testing. Come linguaggio di programmazione e ambiente di sviluppo si fa riferimento a Java. Come ambiente di esecuzione si usa un sistema sviluppato dal docente che facilita l'interazione con l'utente e le operazioni di I/O.

Nella seconda fase si approfondiscono aspetti tecnici legati al linguaggio di programmazione ed alla esecuzione dei programmi. In questa fase vengono discussi i meccanismi primitivi del C e la loro influenza sulle fasi di progetto e di esecuzione.

Il corso prevede intense attività di laboratorio, in stretto coordinamento con il corso di **Laboratorio di Informatica L-A**.

### **Contenuti**

- *Struttura e funzionamento di un sistema di elaborazione: dai personal computer ai Web*
- *Concetti comuni ai linguaggi di programmazione. Dati, variabili e tipi. Il ruolo del type system. Espressioni e funzioni prive di effetti collaterali. Le istruzioni di controllo e l'assegnamento.*
- *Metodologie top down e bottom up per la risoluzione dei problemi.*
- *Un ambiente Java ad I/O facilitato. per la esecuzione e il testing di algoritmi.*
- *Tecniche iterative e ricorsive per la risoluzione dei problemi.*
- *I concetti di oggetto, classe ed ereditarietà in Java.*
- *Gli array in Java. Metodi di ordinamento e cenni di complessità computazionale.*
- *Variabili, array, indirizzi e puntatori in C. Gli operatori & e \*.*
- *Il comportamento a tempo di esecuzione dei programmi.*
- *Il sistema di I/O e l'uso dei file in Java e in C*

### **Materiale didattico**

Vengono fornite dispense a cura del docente, sia in forma elettronica sia in forma cartacea. Fortemente consigliato un testo/manuale sul linguaggio Java e sul linguaggio C. Possibili titoli saranno esposti sul sito web del docente [www-natali.deis.unibo.it](http://www-natali.deis.unibo.it)

**FONDAMENTI DI INFORMATICA LA****BO, cds: G\_Bo(L-Z), P(L-Z)**Docente: **Wilma Penzo ric.****Programma****Architettura dei sistemi di elaborazione.**

Struttura generale di un calcolatore elettronico. La macchina di Von Neumann. Calcolatori e applicazioni. Reti di calcolatori. Internet e World Wide Web.

**Software di base per sistemi di elaborazione.**

Il sistema operativo. Strumenti per la programmazione: editor, debugger, compilatori e interpreti. Fasi di sviluppo di un programma.

**Elementi di programmazione.**

Metodi per l'analisi di un problema. Introduzione agli algoritmi. Metodologie di programmazione strutturata e modulare. Algebra di Boole.

**Linguaggi di Programmazione.**

I linguaggi di programmazione e cenni alla loro evoluzione. Sintassi e semantica dei programmi.

**Il linguaggio Java.**

Il linguaggio di programmazione Java. Struttura delle applicazioni Java. Alfabeto e sintassi Java. Oggetti e classi. Uso di oggetti. Variabili e assegnazione. Costanti. Tipi. Espressioni e operatori. Creazione di oggetti e costruttori. Convenzioni di codifica. Istruzioni di ingresso/uscita. Istruzioni composte, condizionali e ripetitive. Regole di visibilità e tempo di vita. Progetto e definizione di metodi. Overloading. Stringhe. Array. Definizione di classi. Incapsulamento. Algoritmi di ricerca su vettori. Correttezza.

**Testi di riferimento**

Dispense del corso fornite dalla docente.

S. CERI, D. MANDRIOLI, L. SBATELLA, *Informatica – arte e mestiere*, McGraw-Hill, 1994.

CAY S. HORSTMANN, *Concetti di informatica e fondamenti di java 2*, Apogeo, 2000.

**Modalità di esame**

Prova scritta e prova orale integrativa.

**FONDAMENTI DI INFORMATICA LB****BO, cds: T**Docente: **Rebecca Montanari ric.****Scopo dell'Insegnamento**

Fornire i concetti e le metodologie per l'analisi, la specifica e il progetto di sistemi software basati sul paradigma ad oggetti, con specifico riferimento ai costrutti linguistici del linguaggio Java.

**Programma**

Concetti fondamentali dei linguaggi di programmazione. Famiglie di linguaggi imperativi, funzionali, logici e a oggetti. Introduzione alla progettazione del software: componenti software,

tipi di dato astratto, relazione fra concetti, metodologie e linguaggi. Introduzione alla programmazione ad oggetti e al linguaggio Java: componenti software, tipi di dato astratto, classi e istanze, meccanismi di costruzione-distruzione di istanze. Oggetti composti, ereditarietà semplice e multipla, polimorfismo e genericità. Classi astratte, interfacce. Il concetto di eccezione. Elementi di base per la costruzione di interfacce grafiche: concetto di evento e programmazione event-driven. Gestione dell'I/O. Specifica e progetto orientati agli oggetti e realizzazione in C e Java.

### *Esame*

La prova d'esame consiste in una prova di laboratorio eventualmente integrata da una prova orale.

### *Bibliografia obbligatoria*

Sono disponibili sul sito Web del corso (<http://lia.deis.unibo.it/Courses/>) copia delle diapositive proiettate e discusse a lezione a cura del docente, nonché alcune dispense integrative; un elenco esaustivo di testi di riferimento e manuali è consultabile sia sul sito Web, sia sulle diapositive. Il sito fornisce inoltre suggerimenti per ulteriori esercizi e approfondimenti.

## **FONDAMENTI DI INFORMATICA LB**

**BO, cds: I (A-E)**

Docente: **Enrico Denti ric.**

### *Scopo dell'Insegnamento*

Fornire i concetti e le metodologie per l'analisi, la specifica e il progetto orientati agli oggetti di sistemi software, con specifico riferimento ai costrutti linguistici del linguaggio Java.

### *Programma*

Concetti fondamentali dei linguaggi di programmazione. Famiglie di linguaggi imperativi, funzionali, logici e a oggetti. Introduzione alla progettazione del software: componenti software, tipi di dato astratto. Concetti, metodologie e linguaggi. Introduzione alla programmazione ad oggetti e al linguaggio Java: componenti software in Java, classi e istanze, meccanismi di costruzione-distruzione di istanze. Oggetti composti, ereditarietà, polimorfismo e genericità. Classi astratte, interfacce: il ruolo delle interfacce nel progetto e loro relazione con le classi. Ereditarietà semplice e multipla fra interfacce. Il concetto di eccezione. Elementi di base per la costruzione di interfacce grafiche: concetto di evento e programmazione event-driven. Stream di I/O, cenni alle applicazioni di rete. Principali strutture dati: specifica e progetto orientati agli oggetti e realizzazione in C e Java.

### *Esame*

La prova d'esame consiste in una prova di laboratorio eventualmente integrata da una prova orale.

### *Bibliografia*

Sono disponibili sul sito Web del corso (<http://lia.deis.unibo.it/Courses/>) copia delle diapositive proiettate e discusse a lezione a cura del docente, nonché alcune dispense integrative; un elenco esaustivo di testi di riferimento e manuali è consultabile sia sul sito Web, sia sulle diapositive. Il sito fornisce inoltre suggerimenti per ulteriori esercizi e approfondimenti.

**FONDAMENTI DI INFORMATICA LB****BO, cds: L**Docente: **Enrico Lodolo** prof. inc.*Scopo dell'Insegnamento*

Fornire i concetti e le metodologie per la progettazione e la programmazione orientate agli oggetti di sistemi software, con specifico riferimento ai costrutti linguistici del linguaggio Java.

*Programma*

Concetti fondamentali dei linguaggi di programmazione. Famiglie di linguaggi imperativi, funzionali, logici e a oggetti. Introduzione alla progettazione del software: moduli e tipi di dato astratto, relazione fra concetti, metodologie e linguaggi. Introduzione alla programmazione ad oggetti e al linguaggio Java: classi e istanze, meccanismi di costruzione-distruzione di istanze. Oggetti composti, ereditarietà semplice e multipla, polimorfismo e genericità. Classi astratte e interfacce. Il concetto di eccezione. Elementi di base per la costruzione di interfacce grafiche: concetto di evento e programmazione event-driven. Stream di I/O, cenni alle applicazioni di rete.

Principali strutture dati: specifica e progetto orientati agli oggetti e realizzazione in Java.

*Esame*

La prova d'esame consiste in una prova di laboratorio eventualmente integrata da una prova orale.

*Bibliografia*

Sono disponibili sul sito Web del corso (<http://lia.deis.unibo.it/Courses/>) copia delle diapositive proiettate e discusse a lezione a cura del docente, nonché alcune dispense integrative; un elenco esaustivo di testi di riferimento e manuali è consultabile sia sul sito Web, sia sulle diapositive. Il sito fornisce inoltre suggerimenti per ulteriori esercizi e approfondimenti.

**FONDAMENTI DI INFORMATICA LB****BO, cds: G\_Bo(L-Z), P(L-Z)**Docente: **Marco Patella** ric.**Obiettivi dell'Insegnamento:**

Fornire le conoscenze di base sulle strutture dati con specifico riferimento al linguaggio C. Introduzione allo studio della complessità di un algoritmo.

**Programma:**

- 1) Il concetto di variabile in C. Variabili automatiche. Variabili dinamiche.
- 2) Il concetto di file. File di testo. File binari.
- 3) Complessità. Complessità spaziale e temporale. Complessità in passi base. Complessità asintotica. Studio della complessità per alcuni algoritmi di base.
- 4) Programmazione modulare. Studio e realizzazione dell'interfaccia di un modulo. Realizzazione del corpo di un modulo. Utilizzo dei moduli in C.
- 5) Strutture informative: generalità. Implementazione di liste. Implementazione di liste ordinate. Implementazione di code. Implementazione di pile. Implementazione di alberi binari di ricerca. Implementazione di tabelle. Studio della complessità delle operazioni di base sulle strutture informative.

## 6) Introduzione ai sistemi informativi.

*Esame:* prova scritta eventualmente integrata da una prova orale.

*Testi Consigliati:*

Sono disponibili sul sito Web del corso (<http://www-db.deis.unibo.it/courses/FIL-B/>) copia delle diapositive proiettate e discusse a lezione a cura del docente, nonché alcune dispense integrative; un elenco esaustivo di testi di riferimento e manuali è consultabile sia sul sito Web, sia sulle diapositive. Il sito fornisce inoltre suggerimenti per ulteriori esercizi e approfondimenti.

**FONDAMENTI DI INFRASTRUTTURE VIARIE**

BO, cds: C

Docente: **Gianfranco Marchi** ass. ord.

1) *Intersezioni stradali*

Punti di conflitto principali e secondari. Le zone di intreccio. Classificazione delle intersezioni. Intersezioni a raso. Canalizzazioni. Visibilità. Intersezioni a tre rami, a quattro rami, a cinque o più rami. Le rotatorie a raso. Corsie di accelerazione e decelerazione. Intersezioni a livelli separati. Caratteristiche plano-altimetriche delle rampe. Curve di raccordo e curve di ciglio nelle rampe e nelle corsie di variazione della velocità. Principali tipi di svincolo: trombetta, rombo, quadrifoglio parziale; quadrifoglio complesso, svincolo direzionale, svincolo a quattro livelli, rotatorie a livelli separati. Norme del C.N.R. sulle caratteristiche geometriche e di traffico delle intersezioni stradali urbane.

2) *Infrastrutture viarie urbane*

Classificazione funzionale delle strade urbane. Caratteristiche geometriche. Le norme del C.N.R. sulle caratteristiche geometriche delle strade urbane. I piani urbani del traffico e della mobilità. Gli spazi per lo stazionamento dei veicoli stradali: sosta, parcheggio, ricovero, parcheggio a raso e multipiano. Le infrastrutture per i trasporti collettivi: ferrovie metropolitane, sistemi innovativi di trasporto in sede propria; stazioni ed autostazioni.

**FONDAMENTI DI RICERCA OPERATIVA L**

BO, cds: P

Docente: **Paolo Toth** prof. ord.

**Programma**

Il modulo si propone di introdurre la modellizzazione matematica dei processi decisionali e le principali metodologie di tipo quantitativo per la loro risoluzione. Presenta numerosi esempi applicativi e prevede attività di laboratorio al calcolatore. Il modulo sviluppa i seguenti argomenti.

1. I processi decisionali: decisori, obiettivi, informazioni. La modellizzazione. Formulazione di un problema di ottimizzazione: variabili decisionali, funzioni obiettivo, vincoli. Classi di problemi: continui-discreti, lineari-non lineari. Classi di algoritmi: esatti, approssimati, euristici, di ricerca locale.
2. Simulazione numerica di sistemi discreti. Descrizione statica e dinamica di un sistema. Metodi della programmazione degli eventi e della interazione dei processi. Definizione di

modelli di simulazione, progettazione degli esperimenti ed uso della simulazione come strumento decisionale.

3. La programmazione lineare. Formulazione di problemi lineari e loro proprietà. Cenni sull'algoritmo del semplice e sulla teoria della dualità. Analisi di sensitività. Utilizzo di software commerciale: esame dei principali pacchetti, interpretazione degli output.
4. Introduzione alla programmazione lineare intera: modelli e rilassamenti, algoritmi esatti, algoritmi euristici.
5. Ottimizzazione su grafi: principali definizioni e proprietà. Ricerca di cammini ottimi. Cammini critici. Alberi di copertura. Reti di flusso: flusso massimo.
6. Applicazioni: problemi del "knapsack", del "set covering" e del commesso viaggiatore.

#### *Testi consigliati:*

Dispense a cura del docente (distribuite durante le lezioni).

#### *Testi per consultazione:*

- M. FISCHETTI, *Lezioni di Ricerca Operativa*, Edizioni Libreria Progetto, Padova, 1995.  
 S. MARTELLO, *Lezioni di Ricerca Operativa*, III Edizione, Progetto Leonardo, Bologna, 1998.  
 S. MARTELLO, D. VIGO, *Esercizi di Simulazione Numerica*, II Edizione, Progetto Leonardo, Bologna, 1999.

**Propedeuticità consigliate:** moduli di Fondamenti di Informatica L-A, L-B e Geometria e Algebra L.

## **FONDAMENTI DI RICERCA OPERATIVA L**

**BO, cds: G-Bo**

Docente: **Alberto Caprara** prof. ass.

### **Programma**

Il modulo si propone di introdurre la modellizzazione matematica dei processi decisionali e le principali metodologie di tipo quantitativo per la loro risoluzione. Presenta numerosi esempi applicativi e prevede attività di laboratorio al calcolatore. Il modulo sviluppa i seguenti argomenti.

1. I processi decisionali: decisori, obiettivi, informazioni. La modellizzazione. Formulazione di un problema di ottimizzazione: variabili decisionali, funzioni obiettivo, vincoli. Classi di problemi: continui-discreti, lineari-non lineari. Classi di algoritmi: esatti, approssimati, euristici, di ricerca locale.
2. Simulazione numerica di sistemi discreti. Descrizione statica e dinamica di un sistema. Metodi della programmazione degli eventi e della interazione dei processi. Definizione di modelli di simulazione, progettazione degli esperimenti ed uso della simulazione come strumento decisionale.
3. La programmazione lineare. Formulazione di problemi lineari e loro proprietà. Cenni sull'algoritmo del semplice e sulla teoria della dualità. Analisi di sensitività. Utilizzo di software commerciale: esame dei principali pacchetti, interpretazione degli output.
4. Introduzione alla programmazione lineare intera: modelli e rilassamenti, algoritmi esatti, algoritmi euristici.

5. Ottimizzazione su grafi: principali definizioni e proprietà. Ricerca di cammini ottimi. Cammini critici. Alberi di copertura. Reti di flusso: flusso massimo.
6. Applicazioni: problemi del "knapsack", del "set covering" e del commesso viaggiatore.

*Testi consigliati:*

Dispense a cura del docente (distribuite durante le lezioni).

*Testi per consultazione:*

- M. FISCHETTI, *Lezioni di Ricerca Operativa*, Edizioni Libreria Progetto, Padova, 1995.  
 S. MARTELLO, *Lezioni di Ricerca Operativa*, III Edizione, Progetto Leonardo, Bologna, 1998.  
 S. MARTELLO, D. VIGO, *Esercizi di Simulazione Numerica*, II Edizione, Progetto Leonardo, Bologna, 1999.

**Propedeuticità consigliate:** moduli di Fondamenti di Informatica L-A, L-B e Geometria e Algebra L

**FONDAMENTI DI INGEGNERIA ELETTRICA L**

**BO, cds: Q**

Docente: **Fiorenzo Filippetti** prof. ass.

L'Insegnamento si propone di fornire all'allievo ingegnere chimico e di processo le nozioni fondamentali per poter affrontare, nella sua attività professionale, usuali problemi di tecnica elettrica, come, ad esempio, la valutazione di un contratto di energia, la scelta di una apparecchiatura elettrica, il giudizio di conformità di un impianto elettrico e così via. L'Insegnamento, infine, intende far acquisire agli allievi le conoscenze fondamentali sulla sicurezza elettrica.

Circuiti elettrici lineari a parametri concentrati in regime stazionario. Reti elettriche in regime variabile quasi-stazionario. Cenni sui fenomeni transitori. Circuiti elettrici in regime sinusoidale. Rifasamento e risonanza elettrica. Sistema trifase simmetrico ed equilibrato, simmetrico e squilibrato, a quattro fili. Circuiti magnetici lineari in regime stazionario e sinusoidale.

Trasformatori: generalità costruttive e principio di funzionamento. La generazione del moto per interazione di campi magnetici. Il principio di funzionamento dei vari tipi di macchine rotanti: macchina a collettore, macchine sincrone e asincrone, macchine a commutazione elettronica. Motore a collettore a corrente continua: realizzazione costruttiva, equazioni e caratteristiche funzionali. Il motore asincrono ad induzione: realizzazione costruttiva e caratteristiche funzionali. I motori a commutazione elettronica (cenno). La possibilità di ottenere un servizio a velocità variabile nel caso del motore a collettore e del motore a induzione. Azionamenti a velocità variabile (cenno).

Generalità sugli impianti elettrici e loro costituzione. Cenni sulle centrali elettriche e sulle fonti energetiche. Cenni sulle linee lunghe ad alta tensione. Linee corte: circuito equivalente, caduta di tensione, rifasamento. Apparecchiature degli impianti: di comando, di manovra, di protezione, di misura. Le condizioni del neutro nelle reti trifasi ad A.T., M.T. e B.T. Costituzione e criteri di dimensionamento degli impianti elettrici in bassa tensione. Sicurezza elettrica: protezione contro i contatti diretti e indiretti, riferimenti normativi, effetti fisiologici della corrente, messa a terra di protezione e sue modalità.



**Testi consigliati:**

Appunti informali del docente.

F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, Ed. Pitagora, Bologna.

F. ILICETO, *Lezioni di Elettrotecnica*, vol. III, Elementi di Impianti elettrici, Ed. La Goliardica, Roma.

R. MIGLIO, *Circuiti elettrici in corrente continua*, Progetto Leonardo, Bologna.

R. MIGLIO, *Circuiti elettrici in regime variabile*, Progetto Leonardo, Bologna.

R. MIGLIO, *Macchine elettriche rotanti*, Progetto Leonardo, Bologna.

**Esame:** scritto ed orale.

**FONDAMENTI DI RICERCA OPERATIVA LA****BO, cds: T,L,I**

Docente: **Silvano Martello**, prof. ord

**Finalità del corso**

Introdurre le teorie e le metodologie algoritmiche per la soluzione dei problemi decisionali che si presentano, in ambito sociale ed industriale, quando si debbono gestire e coordinare in modo ottimale attività e risorse disponibili in quantità limitata.

**Programma****1. Programmazione lineare**

1.1 Programmazione matematica; programmazione convessa.

1.2 Forma generale, canonica e standard di un problema di programmazione lineare.

1.3 Algoritmo del simplesso: soluzioni base, interpretazione geometrica, organizzazione del "tableau", criterio di ottimalità, degenerazione.

1.4 Soluzione base iniziale: metodo delle due fasi.

1.5 Programmazione lineare intera (cenni)

**2 Teoria dei grafi**

2.1 Definizioni fondamentali.

2.2 Problema del più corto albero ricoprente: algoritmo di Prim.

2.3 Problemi di cammini minimi: algoritmo di Dijkstra.

2.4 Problemi di flusso: algoritmo di Ford e Fulkerson per il problema del flusso massimo.

**3 Complessità (cenni):**

3.1 Complessità degli algoritmi.

3.2 Algoritmi polinomiali ed algoritmi esponenziali.

3.3 Algoritmi approssimati.

**Propedeuticità consigliate:** Fondamenti di informatica, Geometria e algebra.

**Testi consigliati:**

S. MARTELLO, *Lezioni di Ricerca Operativa*, Esculapio (progetto Leonardo), Bologna, 2000.

S. MARTELLO, D. VIGO, *Esercizi di Ricerca Operativa*, Esculapio (progetto Leonardo), Bologna, 1999.

**Esami:** consistono in una prova scritta ed una orale.

**FONDAMENTI E APPLICAZIONI DI GEOMETRIA DESCRITTIVA L. CE, cds: dud**Docente: **Franco Anselmi** prof. inc.

Il corso si propone di indirizzare l'allievo all'impiego delle tecniche e dei metodi per la rappresentazione grafica ai fini delle problematiche analitiche, progettuali e sintetiche proprie dell'Ingegneria Edile.

Attraverso le *lezioni frontali*, le *esercitazioni* e l'attività del *Laboratorio di disegno di architettura* si intende sviluppare una consapevolezza della forma, del grado di istruzione visiva e della capacità di pensare in maniera astratta e analitica al fine di rendere espliciti e chiari tali pensieri.

Il disegno, tecnico e a mano libera, è inteso non come il mero processo meccanico di notazioni grafiche, ma il mezzo comunicativo a livello esplicativo e progettuale per la rappresentazione grafica di qualsiasi oggetto nel piano e nello spazio.

**Programma**

*Il disegno tecnico e quello a mano libera.*

Finalità, strumenti, attrezzature, norme ed unificazioni, tecniche di riproduzione dei disegni.

Il disegno di figure geometriche piane e di solidi semplici.

Scale di rappresentazione.

I rapporti di scala più appropriati alle finalità documentative; le problematiche insite nella rappresentazione alle varie scale.

*La geometria proiettiva grafica.*

Trasformazioni, proiettività, prospettività, omologia.

*Proiezioni ortogonali.*

Metodo della doppia proiezione ortogonale di Monge. Metodi di proiezione multipli.

Enti geometrici fondamentali: punto, retta, piano, figure geometriche piane.

Punti, rette e piani in posizione particolare.

Condizioni di appartenenza, parallelismo, ortogonalità.

Ribaltamento di rette, piani e figure geometriche: vera forma e vera lunghezza.

Prismoidi e cilindroidi: sezioni piane; innesti, raccordi e sviluppi.

Superfici semplici e complesse: rigate, di rotazione, elicoidali

*Proiezioni oblique*

Teoria delle ombre ed applicazioni al disegno tecnico.

Ombre tecniche.

*Proiezioni assonometriche*

Elementi di riferimento.

Assonometria ortogonale: il triangolo delle tracce ed i rapporti di riduzione dell'unità di misura; rappresentazione degli enti geometrici fondamentali.

Assonometria obliqua: il teorema di Pohlke-Schwarz.

Assonometria obliqua cavaliera.

Rappresentazione degli enti geometrici fondamentali; condizioni di appartenenza; condizioni di parallelismo; applicazioni e problemi grafici.

Criteri generali sulla teoria delle ombre nella rappresentazione assonometrica.

*Proiezioni centrali: la prospettiva*

Elementi di riferimento.

Enti geometrici fondamentali (rette, punti, piani in posizione particolare; piani proiettanti; retta e piano generico).

Condizioni di appartenenza, di parallelismo, di perpendicolarità.

Punti di misura (di una retta sul geometrico; di rette perpendicolari al quadro; di rette parallele al quadro; di rette generiche su piano generico; di rette generiche su piano verticale).

Problemi di misura (misura di angoli).

I tipi di prospettiva (a quadro verticale; a quadro orizzontale; a quadro obliquo).

Metodi risolutivi (punti di fuga; punti di misura; piani proiettanti; ribaltamento ecc.); spostamento del geometrale; cono ottico; accorgimenti per impostare correttamente una prospettiva.

Applicazioni: prospettiva a quadro verticale, a quadro orizzontale, a quadro inclinato, metodo del ribaltamento.

Le ombre in prospettiva – criteri generali e definizioni: sorgente luminosa al finito e sorgente luminosa all'infinito (posizione della sorgente rispetto all'osservatore: casi ed applicazioni).

*Proiezioni quotate*

Elementi di riferimento.

Rappresentazione degli enti fondamentali.

Condizioni di appartenenza, di parallelismo, di perpendicolarità.

Problemi applicativi (intersezioni; applicazione delle p. q. nella determinazione delle falde per la copertura dei tetti; rappresentazione del terreno e problemi relativi; applicazioni con definizioni di scarpate di sterro e riporto).

Piani quotati ed a curve di livello.

### Esame

Prova grafica relativa ai metodi di rappresentazione trattati durante il corso: proiezioni ortogonali, ombre tecniche, prospettiva.

Prova orale articolata in due fasi distinte:

– colloquio con lo esercizi di sintesi inerenti gli argomenti trattati nel corso delle lezioni e delle esercitazioni.

– esposizione e valutazione degli elaborati grafici prodotti nell'ambito del Laboratorio

### Bibliografia

R. MINGUCCI (a cura di), *Esercizi di disegno edile*, Bologna, Patron, 2001.

M. DOCCI, D. MAESTRI, *Scienza del disegno*, Torino, UTET, 2000.

M. DOCCI, *Manuale di disegno architettonico*, Bari, Laterza, 1992.

C. BONFIGLI, C.R. BRAGGIO, *Geometria descrittiva e prospettiva con applicazioni ed esercizi*, Milano, Hoepli.

F. MIRRI, *La rappresentazione tecnica e progettuale*, Roma, NIS, 1990.

AA. VV., *Teorie e metodi del disegno*, a cura di M. Borgherini, Milano, CittàStudi, 1994.

### FONDAMENTI E METODI DELLA PROGETTAZIONE INDUSTRIALE BO, cds: Q

Docente: **Vincenzo Dal Re** prof. ass.

**ELEMENTI DI DISEGNO TECNICO.** Proiezioni ortogonali. Sezioni di solidi geometrici. Compenetrazioni di solidi geometrici. Tipi e grossezze di linee. Sezioni. Quotatura. Collegamenti con organi filettati. Complessivi di apparecchiature chimiche.

**ELEMENTI DI TECNOLOGIA MECCANICA.** Designazione dei materiali. Prove sui materiali. Procedimenti costruttivi. Saldature. Controlli non distruttivi.

**TENSIONI e DEFORMAZIONI MEMBRANALI** nei recipienti a pressione.

**CILINDRI DI GROSSO SPESSORE.** Cilindri blindati. Autoblindamento.

**PIASTRE RETTANGOLARI SOGGETTE A FLESSIONE. PIASTRE CIRCOLARI SOGGETTE A FLESSIONE.**

**TEORIA FLESSIONALE DEI GUSCI CILINDRICI.** Recipiente cilindrico con fondi emisferici, ellissoidici, piani.

**FLANGE.** Tensioni nelle flange. Preserraggio dei bulloni.

**CONCENTRAZIONI DI TENSIONE.** Aperture rinforzate.

**CALCOLO DELLE SALDATURE.**

**MECCANICA DELLA FRATTURA.** Metodo energetico di Griffith. Determinazione sperimentale della tenacità a frattura KIC.

**LE NORME ISPESL.**

### *Testi consigliati*

J. F. HARWEY, *Pressure Vessel Design: Nuclear and Chemical Applications*, Van Nostrand Company, Inc.

S.P. TIMOSHENKO, S. WOINOWSKY-KRIEGER, *Theory of Plates and Shells*, McGraw Hill Book Company, Inc.

C. RUIZ, F. KOENIGSBERGER, *Design for Strength and Production*, McMillan.

R.W. NICHOLS, *Pressure Vessel Engineering Technology*, Elsevier.

MANFÉ, POZZA, SCARATO, *Disegno Meccanico*, Vol. 1 e 2.

V. DAL RE, *Lezioni del Corso di Costruzione di Macchine per Ingegneria Chimica*, Progetto Leonardo.

V. DAL RE, *Esercizi del Corso di Costruzione di Macchine per Ingegneria Chimica*, Progetto Leonardo.

ISPESL, Raccolta VSR

ISPESL, Raccolta M

ISPESL, Raccolta S

## **FOTOGRAMMETRIA L**

**BO, cds: C,R**

Docente: **Gabriele Bitelli** prof. straord.

### *Programma*

Posizione della fotogrammetria nell'ambito delle scienze del rilevamento. Note storiche sullo sviluppo della fotogrammetria e delle tecniche di rilievo e rappresentazione ad essa correlate.

Sistemi di coordinate usati in fotogrammetria. Sistemi di riferimento bi- e tridimensionali e trasformazioni tra di essi. La trasformazione proiettiva: sviluppo degli strumenti matematici di base, equazioni di collinearità.

Il "caso normale" nella restituzione stereoscopica, errori in gioco. Stereoscopia e sensibilità stereoscopica. La fotointerpretazione per l'analisi qualitativa e quantitativa di fotogrammi aerei.

Le camere metriche e semimetriche e la loro calibrazione. Le emulsioni fotografiche. Note di tecnica foto-grafica e di teoria dei colori.

Voli fotogrammetrici: il progetto del volo e la sua esecuzione. Dispositivi antistrascinamento. Utilizzo del sistema GPS in fotogrammetria aerea. Effetti e correzioni per rifrazione atmosferica e curvatura terrestre.

L'orientamento interno di un fotogramma.

L'orientamento esterno: di un singolo fotogramma, di una coppia in due fasi (orientamento relativo e orientamento assoluto), di una coppia in una sola fase.

Gli strumenti per la restituzione. Componenti fondamentali di un restitutore analitico.

Il problema dell'appoggio. La triangolazione fotogrammetrica a modelli indipendenti e per fasci proiettivi.

Modelli digitali del terreno (DTM) e prodotti derivati.

Il raddrizzamento per oggetti piani. Il raddrizzamento differenziale e l'ortofotoproiezione.

Produttività del metodo fotogrammetrico. Capitolati d'appalto e collaudi per la formazione di cartografia fotogrammetrica numerica.

La fotogrammetria dei vicini. Camere, metodologie di presa e restituzione con riferimenti all'architettura, all'archeologia, alle applicazioni ingegneristiche ed industriali. Metodi semplificati di restituzione monoscopica. Utilizzo di camere non metriche.

La fotogrammetria digitale: caratteristiche delle immagini digitali (tecniche di acquisizione, risoluzione geo-ometrica e radiometrica, integrabilità con altri dati), componenti hardware e software delle stazioni foto-grammetriche digitali, esempi applicativi. Principali algoritmi per l'elaborazione di immagini. Correlazione di immagini ed automazione delle fasi del processo fotogrammetrico.

Immagini digitali multispettrali e loro elaborazione. Cenni sul telerilevamento aereo e da satellite: principali sistemi in uso, esempi applicativi.

Una parte del corso è dedicata ad una introduzione ai sistemi informativi territoriali (GIS): caratteristiche e funzionalità principali, impiego della cartografia numerica di origine fotogrammetrica e integrazione con tecniche e prodotti della fotogrammetria digitale.

*Esercitazioni:* rilievo fotogrammetrico terrestre di oggetti di interesse architettonico, orientamenti e restituzione con strumenti analitici e digitali, esempi di elaborazioni digitali

*Tesi di laurea:* sono disponibili tesi, prevalentemente a carattere sperimentale-applicativo, in particolare nel campo delle tecniche digitali per la fotogrammetria dei vicini e in applicazioni GIS.

*Testi consigliati:*

KRAUS KARL, *Fotogrammetria*, Vol. 1, ed. Levrotto e Bella, Torino, 1994.

SELVINI A., GUZZETTI F., *Fotogrammetria Generale*, ed. UTET, Torino, 2000.

MIKHAIL, BETHEL, MCGLONE, *Introduction to modern photogrammetry*, Wiley, 2001.

Materiale fornito dal docente.

## FOTOGRAMMETRIA L

CE, cds: dud

Docente: **Gabriele Bitelli** prof. straord.

### 1. Obiettivo del corso

Il corso completa le conoscenze di base acquisite con "Elementi di Fotogrammetria" ed intende fornire allo studente gli elementi per potere progettare o eseguire un rilievo fotogrammetrico secondo le metodologie moderne più appropriate. Particolare attenzione viene posta nelle tecniche digitali (sono privilegiate le applicazioni nel campo del rilievo a fini architettonici e dei Beni Culturali, ma sono illustrati anche casi relativi al settore industriale) e verso l'integrazione del dato di origine fotogrammetrica in sistemi per la gestione del territorio.

### 2. Struttura didattica

Il corso è articolato in lezioni teoriche ed esercitazioni pratiche. Si suppone che lo studente

abbia già acquisito le nozioni di base fornite dagli insegnamenti di "Elementi di Topografia" ed "Elementi di Fotogrammetria".

### 3. Contenuti

*Richiami ed approfondimenti di fotogrammetria analitica:* trasformazioni bi- e tridimensionali, tecniche diverse per la determinazione dei parametri di orientamento interno ed esterno.

*Triangolazione aerea:* per concatenamento di fotogrammi, per modelli indipendenti, a fasci proiettivi. Cenni sulle applicazioni nella fotogrammetria dei vicini.

*Raddrizzamento e raddrizzamento differenziale.*

*Modelli digitali del terreno (DTM) e delle superfici (DSM).*

*Fotogrammetria digitale:* acquisizione delle immagini per via diretta (camere digitali) e indiretta (scanner fotogrammetrici e non fotogrammetrici), elementi di una stazione fotogrammetrica digitale, tecniche di elaborazione di immagine, algoritmi di base della fotogrammetria digitale (matching, ricampionamento, operatori di interesse, ecc.), procedure specialistiche (generazione automatica di DTM, fotopiani, ortofoto, ecc.).

*Tecniche fotogrammetriche non convenzionali:* restituzione monoscopica, DLT.

*Specifiche tecniche,* controllo di qualità e collaudo di fotogrammetria numerica aerea e terrestre.

*Cenni di telerilevamento* e suoi utilizzi nella gestione del territorio. Uso di immagini telerilevate ad alta risoluzione all'interno di sistemi informativi territoriali (SIT/GIS).

*Esempi applicativi* nel rilevamento a fini architettonici, nel restauro, nel controllo di edifici, in archeologia, nei sistemi informativi per la gestione dei beni culturali, come livello di base per i GIS.

### 4. Esercitazioni

Esecuzione di rilievo fotogrammetrico, con tecniche digitali, per un oggetto di interesse architettonico. Utilizzo di camere semimetriche e digitali, autocalibrazione di camere amatoriali. Uso di sistemi di visione tridimensionale di tipo digitale e di programmi per elaborazione di immagini.

Esecuzione di restituzioni fotogrammetriche al computer con sistemi monoscopici commerciali, dall'acquisizione della geometria fino al modello tridimensionale.

### 5. Modalità di esame

L'esame si articola in una unica prova orale che mira a verificare l'apprendimento degli argomenti trattati durante il corso.

### Bibliografia

KRAUS KARL, *Fotogrammetria*, Vol. 1, ed. Levrotto e Bella, Torino, 1994.

Materiale vario fornito dal docente.

### Altri testi per consultazione

MIKHAIL, BETHEL, MCGLONE, *Introduction to modern photogrammetry*, Wiley, 2001.

SELVINI A., GUZZETTI F., *Fotogrammetria Generale*, ed. UTET, Torino, 2000.

**GEOFISICA APPLICATA****BO, cds: R**Docente: **Giovanni Santarato** prof. Inc.**Programma**

Il problema diretto ed inverso in Geofisica. L'inversione come regressione non lineare per la stima dei parametri del modello.

**Metodi sismici di prospezione.** Dromocrona della riflessione per uno strato piano orizzontale ed inclinato. Definizione del normal move-out e sua importanza. Correzione dinamica e tecniche CMP. Cenno ai problemi dell'analisi della velocità e della migrazione. Esempi. Onda conica o di Cagniard. Dromocrona della rifrazione per uno strato piano orizzontale ed inclinato. Limiti della sismica a rifrazione.

**Campi a potenziale:** Misure della gravità e del campo magnetico; i gravimetri ed i magnetometri. Correzioni alle misure di gravità e magnetiche. Interpretazione quantitativa delle misure gravimetriche e magnetometriche.

**Metodi elettromagnetici di prospezione.** La resistività elettrica delle rocce. Il metodo geoelettrico e concetto di resistività apparente. La tomografia elettrica di resistività. Cenno ai metodi con campo magnetico variabile.

Il georadar: principio e schema dello strumento. Applicazioni e limiti.

**Testi consigliati:**

REYNOLDS J.M., *An introduction to applied and environmental Geophysics*, Wiley, N.Y.

**GEOLOGIA****BO, cds: R**Docente: **Gilberto Bonaga** ric.**Finalità dell'Insegnamento:**

Introduzione dei concetti fondamentali per la conoscenza dei corpi geologici e delle rocce che li costituiscono. Analisi di ambienti, forme e processi geologici e dell'interazione con le attività umane. Lettura, interpretazione e compilazione delle ordinarie geologiche.

**Programma**

L'interno terrestre. Sismologia e struttura profonda della terra; magnetismo e flusso di calore.

Gli involucri esterni della terra. Crosta oceanica e crosta continentale. Tettonica delle placche. Gravità e isostasia.

Mineralogia: natura dei minerali; i principali minerali costituenti le rocce.

Il consolidamento magnetico e la formazione delle rocce ignee. Plutonismo. Le forme delle intrusioni magmatiche; Vulcanismo: attività e prodotti dei vulcani. Il modello globale del vulcanismo.

Le rocce metamorfiche.

Le rocce sedimentarie: natura, tipo e origine delle rocce sedimentarie.

I processi di superficie: alterazione fisica e chimica; erosione; movimenti gravitativi.

Gli ambienti e i processi sedimentari: i sistemi fluviale, glaciale, litorale, eolico; l'ambiente marino.

Geologia stratigrafica. Unità, principi e correlazioni stratigrafiche. I cicli sedimentari.

- Geologia strutturale: la deformazione delle rocce; pieghe, faglie, fratture.  
 Evoluzione dei continenti: orogenesi.  
 Geologia ambientale. Risorse: idrocarburi, origine, genesi, migrazione e accumulo; acque sotterranee; geotermia. Rischi geologici: frane, subsidenza, terremoti.  
 Principi generali di rilevamento geologico. Le carte geologiche. Cenni di Geologia regionale dell'Italia.

*Testi consigliati:*

- HAMBLIN W. KENNET, *Earth's dynamic systems*, Ed. Macmillian Pub. Co. (in inglese).  
 PRESS F., SIEVER R., *Introduzione alle Scienze della Terra*, Zanichelli.  
 BOSELLINI A., *Le scienze della terra*, Zanichelli.  
 AA.VV., *Enciclopedia Cambridge. Scienze della Terra*, Editori Laterza.  
 PIERI M., *Petrolio*, Zanichelli.  
 Dispense integrative fornite dal docente.

**GEOLOGIA** (semestrale)

**BO, cds: C**

Docenti: **Alberto Landuzzi** prof. ass.

*Finalità del corso.* Fornire una conoscenza sintetica della Geologia di base ed alcune nozioni elementari di Geologia applicata, per permettere agli studenti di: (a) riconoscere i principali tipi di rocce e di terre, individuandone i processi genetici; (b) leggere ed interpretare a fini pratici le carte geologiche e le sezioni geologiche; (c) rendersi conto anche sul terreno delle principali problematiche geologiche connesse con l'Ingegneria civile.

*Litologia e Geologia di base.* Identificazione macroscopica dei principali minerali che costituiscono le rocce. Identificazione macroscopica delle più comuni rocce e terre, mediante la determinazione di tessitura, struttura, composizione e proprietà fisico-chimiche dell'aggregato. Analisi del ciclo litogenetico mediante lo studio dei processi plutonici, vulcanici, sedimentari, diagenetici e metamorfici. Inquadramento del ciclo litogenetico nella dinamica interna ed esterna della Terra. Applicazione dei principi della Stratigrafia, della Tettonica e della Geomorfologia allo studio delle carte geologiche e delle sezioni geologiche. Esame dei dati geologici e geomorfologici che consentono di valutare la pericolosità delle eruzioni vulcaniche, dei terremoti, delle frane e delle alluvioni.

*Geologia applicata.* Cenni introduttivi sulle caratteristiche meccaniche ed idrogeologiche delle rocce e delle terre in funzione della litologia, delle discontinuità strutturali e dello stato di alterazione. Cenni introduttivi sulla distribuzione e le modalità di scorrimento delle acque sotterranee: falde freatiche, falde artesiane e strutture idrogeologiche. Considerazioni sui rapporti tra falde idriche, sorgenti e corsi d'acqua superficiali. Considerazioni sul ruolo dell'acqua nei fenomeni franosi. Valutazione dei rischi geologici e degli impatti ambientali nella progettazione di massima delle opere ingegneristiche.

*Articolazione del corso.* La prima metà del corso sarà dedicata allo studio delle rocce e dei processi litogenetici, mentre la seconda sarà rivolta all'esame degli elaborati geologici ed agli argomenti applicativi. Per tutta la durata del corso, le lezioni saranno integrate da esercitazioni ripartite in turni (max 30 persone a turno). Verso il termine del corso, gli studenti potranno partecipare ad escursioni didattiche nelle Alpi e nell'Appennino centro-settentrionale.

*Esame.* Consiste di una prova pratica e di una prova orale, da svolgere contestualmente.



*Dispense.* Per lo svolgimento delle esercitazioni è necessaria la raccolta di schemi ed appunti depositata dal Prof. A. Landuzzi presso l'ufficio fotocopie della Biblioteca di Ingegneria.

### Testi consigliati

- AUTORI VARI, *La dinamica della Terra*, Letture da, ed. Mondadori.  
 BOSELLINI A., *Le scienze della terra e l'Universo intorno a noi*, Ed. Bovolenta.  
 CARLONI G.C., *Geologia Applicata*, ed. Pitagora.  
 MARTINIS B., *Geologia ambientale*, ed. UTET.  
 PRESS F., SIEVER R., *Introduzione alle Scienze della Terra*, ed. Zanichelli.  
 TREVISAN L., GIGLIA G., *Introduzione alla Geologia*, ed. Pacini.

## GEOLOGIA APPLICATA

BO, cds: R

Docente: Giulio Cesare Carloni prof. ord.

### Finalità

L'Insegnamento è espressamente finalizzato a fornire un'ampia conoscenza di nozioni geologico-applicative, indispensabili per corretto uso delle tecniche ingegneristiche nel campo della progettazione più generale delle opere civili. Le scienze geologiche si pongono come obiettivo la pianificazione dell'uso del territorio con la scelta dei siti più idonei per gli insediamenti o le attività industriali importanti, tenendo conto della valutazione di tutti i rischi geologici, sulla base di un approfondimento delle conoscenze dell'ambiente fisico.

L'Insegnamento fornisce le nozioni propedeutiche di litologia geologia e rilevamento geologico-tecnico per la risoluzione dei problemi geologici che di volta in volta si presentano dei diversi settori e territori in cui opera l'Ingegnere dell'Ambiente e del Territorio.

### Programma

Elementi propedeutici sul ciclo geodinamico endogeno ed esogeno, sulla Geologia stratigrafica e Strutturale, sui processi di formazione delle rocce e loro classificazione; Tecniche di rilevamento ed elaborazione di carte geologiche e geomatiche. Caratterizzazione tecnologica delle rocce come materiali da costruzione. Esplorazione geologica del sottosuolo, correlazione di dati di sondaggi, metodi di indagini geofisiche nella prospezione geologica. Descrizione degli elaborati geologici.

I rischi naturali: la pericolosità sismica, il rischio vulcanico e le alluvioni. Cenni di Sismologia e segnali precursori dei terremoti: conoscere il terremoto, parametri che influenzano il rischio sismico, distribuzione geografica e zonazione. Nozioni di Idrogeologia: caratteristiche degli acquiferi in mezzi porosi e rocce fratturate; le acque sotterranee come risorsa e come fattore di pericolo nelle trasformazioni territoriali; ricerca e captazione delle acque superficiali e di quelle sotterranee, problemi di subsidenza.

Cenni di Geomorfologia: dinamica dei versanti e dinamica fluviale; dissesti idrogeologici con particolare riguardo alle frane, prevenzione e bonifica dei fenomeni franosi e di intensa erosione, metodi di valutazione del rischio che le frane rappresentano per l'attività antropica. Aspetti geologici applicativi legati alla definizione dell'idoneità di siti per scariche controllate.

Problemi geologico-tecnici nella progettazione di strutture viarie e grandi infrastrutture che possono alterare l'ambiente. Problemi geologico-tecnici nella progettazione degli invari artificia-

li, tipologie delle dighe, studio della zona di imposta e dell'invaso, valutazione dei rischi e dell'impatto ambientale delle dighe. Geologia delle fondazioni scelta dei diversi tipi in funzione delle caratteristiche dei terreni e degli assetti strutturali delle rocce.

Studi geologico-tecnici per i grandi scavi in sotterraneo; interazione con le acque di falda. Utilizzo del sottosuolo come alternativa alle realizzazioni in superficie e problematiche relative. Geologi adelle gallerie.

Contributi della Geologia applicata alla valutazione dell'impatto ambientale delle grandi opere di trasformazione ed uso del territorio. Esempi di opere che hanno un impatto sull'ambiente: le discariche controllate, le autostrade, le dighe, gli insediamenti industriali, ecc.

Seguono cinque letture riguardanti:

1. Evoluzione paleogeografica del Mediterraneo.
2. Tettonica globale.
3. La subsidenza del territorio bolognese.
4. La geologia e i collegamenti autostradali attraverso l'Appennino tosco-emiliano.
5. Il problema dei R.S.U. in relazione all'ambiente.

Cicli di *esercitazioni* per lettura degli elaborati geologici e la pratica sul riconoscimento delle rocce con escursioni sul terreno. Viaggi di istruzione riguardanti la geologia dell'Appennino centro-settentrionale. Le visite tecniche a cantieri stradali e zone in frana, dighe ed impianti acquedottistici completano il programma dell'insegnamento.

Le esercitazioni, in più turni, iniziano nella settimana successiva all'avvio delle lezioni e proseguono al ritmo di 1 ora alla settimana fino alla fine dell'anno accademico.

#### *Testi consigliati:*

G.C. CARLONI, *Geologia applicata*, ed. Pitagora.

B. MARTINIS, *Geologia ambientale*, ed. UTET.

AUTORI VARI, *Geologia tecnica*, ed. ISEDI.

AUTORI VARI, *Problemi di Geofisica*, letture da ed. Mondadori.

D.E. ALEXANDER, *Calamità naturali*, ed. Pitagora.

G. GISOTTI e S. BRUSCHI, *Valutare l'ambiente*, La Nuova Italia Scientifica.

## **GEOLOGIA APPLICATA L**

CE, cds: dud

Docente: **Giulio Cesare Carloni** prof. ord.

#### *Finalità del corso*

Introdurre gli studenti del Diploma in Edilizia alle conoscenze necessarie delle Discipline Geologiche per una trattazione generale alle applicazioni pratiche nel settore specifico.

#### *Programma*

Le scienze della terra e i campi di applicazione della geologia. Cenni di litologia: minerali e rocce. Generalità sui processi genetici delle rocce. Proprietà geotecniche; Cartografia ed elaborati geologici. Generalità sulla stratigrafia e la tettonica. Rischi geologici: vulcanico, sismico e geologico in s.s. Degradazione dei materiali litoidi e processi erosivi. Dissesti idrogeologici con particolare riguardo alle frane e ai movimenti franosi. Aspetti geomorfologici in relazione alla progettazione ingegneristica. Elementi di idrogeologia. Territorio e ambiente urbano-industriale. Studio e valutazione dell'impatto ambientale (V.I.A.).

Sono previsti viaggi di istruzione ed esercitazioni pratiche di laboratorio e sul terreno.

*Testi consigliati*

CARLONI G.C., *Litologia e geologia per ingegneria civile*, Pitagora, Bologna.

CARLONI G.C., *Geologia applicata per ingegneria dell'ambiente e territorio*, Pitagora, Bologna.

**GEOLOGIA L****BO, cds: C**

Docenti: **Alberto Landuzzi** prof. ass.

*Finalità del corso.* Fornire una conoscenza sintetica della Geologia di base ed alcune nozioni elementari di Geologia applicata, per permettere agli studenti di: (a) riconoscere i principali tipi di rocce e di terre, individuandone i processi genetici; (b) leggere ed interpretare a fini pratici le carte geologiche e le sezioni geologiche; (c) rendersi conto anche sul terreno delle principali problematiche geologiche connesse con l'Ingegneria civile.

*Litologia e Geologia di base.* Identificazione macroscopica dei principali minerali che costituiscono le rocce. Identificazione macroscopica delle più comuni rocce e terre, mediante la determinazione di tessitura, struttura, composizione e proprietà fisico-chimiche dell'aggregato. Analisi del ciclo litogenetico mediante lo studio dei processi plutonici, vulcanici, sedimentari, diagenetici e metamorfici. Inquadramento del ciclo litogenetico nella dinamica interna ed esterna della Terra. Applicazione dei principi della Stratigrafia, della Tettonica e della Geomorfologia allo studio delle carte geologiche e delle sezioni geologiche. Esame dei dati geologici e geomorfologici che consentono di valutare la pericolosità delle eruzioni vulcaniche, dei terremoti, delle frane e delle alluvioni.

*Geologia applicata.* Cenni introduttivi sulle caratteristiche meccaniche ed idrogeologiche delle rocce e delle terre in funzione della litologia, delle discontinuità strutturali e dello stato di alterazione. Cenni introduttivi sulla distribuzione e le modalità di scorrimento delle acque sotterranee: falde freatiche, falde artesiane e strutture idrogeologiche. Considerazioni sui rapporti tra falde idriche, sorgenti e corsi d'acqua superficiali. Considerazioni sul ruolo dell'acqua nei fenomeni franosi. Valutazione dei rischi geologici e degli impatti ambientali nella progettazione di massima delle opere ingegneristiche.

*Articolazione del corso.* La prima metà del corso sarà dedicata allo studio delle rocce e dei processi litogenetici, mentre la seconda sarà rivolta all'esame degli elaborati geologici ed agli argomenti applicativi. Per tutta la durata del corso, le lezioni saranno integrate da esercitazioni ripartite in turni (max 30 persone a turno). Verso il termine del corso, gli studenti potranno partecipare ad escursioni didattiche nelle Alpi e nell'Appennino centro-settentrionale.

*Esame.* Consiste di una prova pratica e di una prova orale, da svolgere contestualmente.

*Dispense.* Per lo svolgimento delle esercitazioni è necessaria la raccolta di schemi ed appunti depositata dal Prof. A. Landuzzi presso l'ufficio fotocopie della Biblioteca di Ingegneria.

*Testi consigliati*

AUTORI VARI, *La dinamica della Terra*, Letture da, ed. Mondadori.

BOSELLINI A., *Le scienze della terra e l'Universo intorno a noi*, Ed. Bovolenta.

CARLONI G.C., *Geologia Applicata*, ed. Pitagora.

MARTINIS B., *Geologia ambientale*, ed. UTET.

PRESS F., SIEVER R., *Introduzione alle Scienze della Terra*, ed. Zanichelli.

TREVISAN L., GIGLIA G., *Introduzione alla Geologia*, ed. Pacini.

**GEOMETRIA E ALGEBRA BS**

CE, cds: clb

Docente: **Michele Mulazzani** prof. Ass.

- Forma canonica di Jordan per matrici reali e complesse
- Diagonalizzazione di matrici normali
- Forme quadratiche reali
- Geometria differenziale di curve e superfici nello spazio

*Testo consigliato:*S. ABEASIS., *Complementi di Algebra Lineare e Geometria*, Zanichelli, Bologna, 1993.**GEOMETRIA ED ALGEBRA L**

BO, cds: G\_BO, P

Docente: **Alessandro Gimigliano** prof. straord.

Richiami sul linguaggio della teoria degli insiemi (notazioni, intersezione, unione, prodotto cartesiano, applicazioni), principali insiemi numerici; strutture algebriche (gruppo, campo).

Richiami di Geometria Analitica: Coordinate cartesiane sulla retta, nel piano e nello spazio. Luoghi geometrici, equazione cartesiana e parametrica della retta nel piano, distanza fra due punti e distanza punto-retta. Vettori. Coniche e Quadriche.

Spazi vettoriali- Dipendenza lineare, sistemi di generatori - Basi: loro esistenza ed equipotenza in dimensione finita; dimensione - Sottospazi vettoriali.

Sistemi lineari - Eliminazione di Gauss - Matrici - Rango di una matrice- Teorema di Rouché-Capelli - Equazioni cartesiane e parametriche di sottospazi vettoriali. - Determinante -Teorema di Cramer - Algoritmi di calcolo del determinante (Laplace, Sarrus).

Trasformazioni lineari; rappresentazione matriciale - Matrici regolari e loro inversione - Equazioni dimensionali - Cambiamenti di base - Similitudine di matrici.

Autovalori ed autovettori - Polinomio caratteristico - Molteplicità algebrica e geometrica - Diagonalizzabilità per similitudine.

Spazi metrici; - Prodotto scalare; spazi vettoriali euclidei; disuguaglianza di Schwarz - Norma euclidea - Basi ortonormali; procedimento di Gram-Schmidt - Complemento ortogonale; ortogonalità.

Cenni su spazi affini - Riferimenti affini - Affinità - Parallelismo - Cambiamenti di riferimento affine.

*Testi consigliati:*P. MAROSCIA: *Algebra Lineare e sue applicazioni*. Zanichelli, Bologna, 2000.

Dispense a cura del docente.

**GEOMETRIA E ALGEBRA L**

BO, cds: C, N

Docente: **Luciano Gualandri** ric.**Argomenti**

Insiemi quoziente, gruppi, anelli, campi (richiami) - Spazi vettoriali - Dipendenza lineare, sistemi di generatori - Basi: loro esistenza ed equipotenza in dimensione finita; dimensione.

Cenni su: funzioni polinomiali, principi di annullamento e di identità, chiusura algebrica, molteplicità di radici, teorema fondamentale dell'algebra, radici razionali di polinomi a coefficienti razionali.

Matrici - Matrici simmetriche, emisimmetriche, ortogonali - Segno di una permutazione - Determinante - Teorema di Laplace- Algoritmi di calcolo del determinante.

Trasformazioni lineari; rappresentazione matriciale - Matrici regolari e loro inversione - Sottospazi vettoriali - Equazioni dimensionali - Rango di una matrice; algoritmi di calcolo - Cambiamenti di base - Similitudine di matrici; determinante di un endomorfismo.

Sistemi lineari - Teorema di Cramer - Teorema di Rouché-Capelli - Algoritmi di risoluzione - Equazioni cartesiane e parametriche di sottospazi vettoriali.

Autovalori ed autovettori - Polinomio caratteristico - Molteplicità algebrica e geometrica - Basi spettrali e diagonalizzabilità per similitudine.

Spazi metrici; spazi vettoriali normati - Prodotto scalare; spazi vettoriali euclidei; disuguaglianza di Schwarz - Norma euclidea - Determinante di Gram - Basi ortonormali; procedimento di Gram-Schmidt - Complemento ortogonale; ortogonalità.

Spazi euclidei - Riferimenti cartesiani - Ortogonalità e parallelismo fra sottospazi euclidei - Equazioni normali di iperpiani - Distanza fra insiemi (in particolare fra sottospazi) - Coseno dell'angolo fra rette - Insiemi convessi; semplici - Volumi - Simmetrie, similitudini, uguaglianze - Geometrie.

Applicazioni e forme bilineari; rappresentazione matriciale - Forme quadratiche - Congruenza di matrici simmetriche - Diagonalizzabilità per congruenza - Rango, segnatura; forme canoniche per congruenza in campo reale.

Punti impropri; coordinate omogenee e non omogenee. Coniche e quadriche - Equazioni canoniche - Fasci di coniche - Classificazioni.

#### Testi consigliati.

CASALI M. R., GAGLIARDI C., GRASSELLI L., *Geometria* (Leonardo), Esculapio, 2001.

GUALANDRI L., *Esercizi di algebra lineare e geometria*, (Leonardo), Esculapio, 1995.

CAVALIERI D'ORO L., GUALANDRI L., *Esercizi di algebra e geometria*, vol. 1-3, coll. Leonardo, ed. Esculapio, 1991.

## GEOMETRIA E ALGEBRA L

BO, cds: R, Q

Docente: Michele Mulazzani prof. ass.

### Preliminari

Generalità sugli insiemi. Relazioni di equivalenza, quozienti. Strutture algebriche. Operazioni standard su  $K^n$ . Polinomi, equazioni algebriche.

### Matrici

Operazioni. Trasformazioni elementari. Matrici a gradini. Permutazioni. Determinante. Proprietà dei determinanti. Sviluppo di Laplace. Inversione di una matrice..

### Spazi vettoriali

Definizioni ed esempi. Sottospazi vettoriali. Sistema di generatori. Dipendenza lineare. Basi e dimensione. Coordinate rispetto ad una base. Somma e intersezione di sottospazi. Formula di Grassmann.

### Trasformazioni lineari.

Definizione ed esempi. Endomorfismi. Isomorfismi. Nucleo e immagine. Matrici associate ad

una trasformazione lineare. Cambiamento di base. Rango di una matrice. Teorema di Kronecker.

### **Sistemi lineari.**

Risolubilità, teorema di Rouché-Capelli. Sistemi di Cramer. Algoritmo di Gauss.

### **Rappresentazioni di sottospazi.**

Rappresentazioni cartesiane e parametriche.

### **Autovalori ed autovettori.**

Autovalori, autovettori e autospazi di un endomorfismo e di una matrice. Matrici simili. Polinomio caratteristico. Diagonalizzazione per similitudine di matrici ed endomorfismi.

### **Forme bilineari e quadratiche.**

Matrici particolari. Forme bilineari. Rappresentazione matriciale. Matrici simmetriche. Forme quadratiche. Forme canoniche.

### **Spazi vettoriali euclidei.**

Prodotti scalari. Ortogonalità. Insiemi ortonormali. Operatori ortogonali. Ortogonalità fra sottospazi.

### **Spazi affini ed euclidei.**

Spazi e trasformazioni affini. Sottospazi affini. Rappresentazioni di sottospazi. Parallelismo. Ortogonalità.

### **Iperquadriche.**

Definizioni generali. Coniche reali nel piano affine ed euclideo.

### *Testi consigliati*

CASALI M.R., GAGLIARDI C., GRASSELLI L., *Geometria*, Progetto Leonardo, Bologna, 2001 (testo ufficiale del corso).

GUALANDRI L., *Esercizi di algebra lineare e geometria*, Progetto Leonardo, Bologna, 1995.

## **GEOMETRIA E ALGEBRA LA**

**BO, cds: L**

Docente: **Massimo Ferri** prof. ord.

### **Teoria**

#### **Equazioni e sistemi lineari.**

Alcune strutture algebriche. Operazioni standard su  $\mathbb{K}^n$ . Sistemi lineari.

#### **Matrici.**

Definizioni iniziali. Operazioni. Sistemi lineari e matrici.

#### **Spazi vettoriali.**

Definizioni iniziali. Sottospazi vettoriali. Combinazioni lineari. Sottospazio somma. Spazi riga e colonna di una matrice.

#### **Basi.**

Dipendenza lineare. Basi e dimensione. Rango di una matrice. Sistemi lineari.

#### **Applicazioni lineari.**

Linearità. Isomorfismi. Nucleo e immagine.

#### **Rappresentazioni matriciali di applicazioni lineari.**

Applicazioni lineari, basi, matrici.

#### **Determinanti.**

Permutazioni. Determinante. Proprietà dei determinanti. Sviluppo di Laplace. Matrice inversa.

Determinante di un operatore lineare. Rango di una matrice. Sistemi lineari.

**Rappresentazioni di sottospazi.**

Rango, nucleo, immagine. Rappresentazioni cartesiane e parametriche.

**Equazioni algebriche.****Autovalori.****Forme bilineari e quadratiche.**

Matrici particolari. Forme bilineari. Rappresentazione matriciale. Matrici simmetriche. Forme quadratiche. Forme canoniche.

**Spazi vettoriali euclidei.**

**Prodotti scalari.** Ortogonalità. **Insiemi ortonormali.** Operatori ortogonali. Ortogonalità fra sottospazi.

**Spazi affini ed euclidei.**

Spazi e trasformazioni **affini.** Sottospazi affini. Rappresentazioni di sottospazi. Parallelismo. Ortogonalità.

**Iperquadriche.**

Definizioni generali. **Coniche reali nel piano affine ed euclideo.**

**Esercitazioni**

Calcolo di determinanti e ranghi di matrici. Discussione e risoluzione di sistemi lineari. Reperimento e rappresentazione di applicazioni lineari. Determinazione delle equazioni di sottospazi vettoriali ed affini. Passaggio fra le rappresentazioni. Calcolo di autovalori e autovettori. Diagonalizzazione di matrici. Risoluzione di problemi di parallelismo ed ortogonalità. Rappresentazione e studio di forme bilineari e quadratiche. Classificazione di coniche. Curve e superfici parametrizzate.

Si possono scaricare le prove d'esame dello scorso Anno Accademico.

**Testi consigliati.**

CASALI M.R., GAGLIARDI C., GRASSELLI L., *Geometria*, Progetto Leonardo, Bologna, 2001 (testo ufficiale del corso).

GUALANDRI L., *Esercizi di algebra lineare e geometria*, Progetto Leonardo, Bologna, 1995.

**GEOMETRIA E ALGEBRA LA****BO, cds: I (L-Z)**

Docente: **Anna Luisa Gilotti** prof. ass.

**Algebra lineare:** Sistemi lineari, eliminazione di Gauss-Jordan, riduzione a scala. Compatibilità dei sistemi lineari, rango di una matrice come numero dei suoi pivots.

Introduzione alla nozione di spazio vettoriale attraverso esempi di spazi vettoriali sui reali: Le  $n$ -uple di numeri reali, i vettori geometrici dello spazio e del piano, le matrici a coefficienti reali. Il concetto di vettori linearmente dipendenti e indipendenti.

Prodotti tra matrici e matrici invertibili, matrici diagonali, scalari, triangolari ecc.

Il rango di una matrice come massimo numero di righe e colonne linearmente indipendenti.

Determinanti: definizione assiomatica della funzione determinante. Esistenza e unicità della funzione determinante. Sviluppo di Laplace. Teorema di Binet. Teoremi di Rouché-Capelli e di Cramer.

Definizione assiomatica di spazio vettoriale su un campo  $K$  (reale o complesso) e ulteriori esempi di spazi vettoriali finitamente generati e non: I polinomi in una indeterminata a coeffi-

cienti in  $K$ . Sottospazi e basi, dimensione di uno spazio vettoriale finitamente generato.

Somma ed intersezione di sottospazi: la formula di Grassmann. Sottospazi complementari e somme dirette.

Trasformazioni lineari di spazi vettoriali sullo stesso campo., nucleo ed immagine, iniettività e suriettività. Isomorfismi di spazi vettoriali. Trasformazioni lineari tra spazi vettoriali di dimensione finita e matrici associate. Cambiamenti di base. Endomorfismi e matrici coniugate. Autovalori ed autovettori di un endomorfismo: polinomio caratteristico. Molteplicità algebrica e geometrica. Autospaazi e diagonalizzazione.

Spazi metrici: prodotto scalare di due vettori geometrici, angoli, distanze, ortogonalità in termini di prodotto scalare.

Proiezioni ortogonali sui sottospazi di  $V_0$ . Prodotto vettoriale in  $V_0$ .

Prodotto scalare canonico in  $\mathbb{R}^n$ : proprietà, disuguaglianza di Schwarz, moduli e angoli, ortogonalità. Formula di aggiunta. Basi ortonormali e matrici ortogonali. Complementi ortogonali. Proiettori ortogonali sui sottospazi di  $\mathbb{R}^n$ . Procedimento di ortonormalizzazione di Gram-Schmidt.

Il prodotto hermitiano canonico. Matrici unitarie e cambiamenti di base ortonormali. Proprietà delle matrici simmetriche reali. Il teorema spettrale.

**Geometria affine:** Lo spazio affine  $A^3$ . Sistemi di riferimento cartesiano affine. Sottovarietà affini: piani e rette: equazioni parametriche e cartesiane. Incidenza, appartenenza, parallelismo. Fasci e stelle di rette e di piani. Rette sghembe. Gradi di libertà. Cenni alla geometria del piano affine.

**Geometria euclidea:** Lo spazio euclideo  $E^3$ . Sistemi di riferimento cartesiano ortogonale. Ortogonalità tra rette, tra piani, tra piani e rette. Distanze tra punti, tra punti e piani, tra punti e rette e tra rette sghembe. Angolo di due rette orientate. Cenni alla geometria del piano euclideo. Introduzione alle coniche e quadriche attraverso proprietà metriche: equazioni canoniche delle coniche. Circonferenze e sfere. Alcuni luoghi geometrici. Quadriche in equazione canonica.

*Testo:*

S. ABEASIS: *Elementi di Algebra Lineare e Geometria* (ed. Zanichelli).

Con riferimento al testo: Capitoli: 1,2,3 (senza paragrafi asteriscati), 4 (fino al paragrafo 5 incluso), 5 (tutto), 6 (fino al paragrafo 4, cenni sul paragrafo 5 e sul paragrafo 6), 7 (fino al paragrafo 5), 8 (paragrafo 1: tutto, paragrafo 2: dall'esempio 2.8 fino all'osservazione 2.14, paragrafo 3: fino alla proposizione 3.4 esclusa, paragrafo 4: tutto, paragrafo 5 tutto)

## GEOMETRIA E ALGEBRA LA

BO, cds: dut, dul, dui, clb

Docente: Michele Mulazzani prof. ass.

### Preliminari

Generalità sugli insiemi. Relazioni di equivalenza, quozienti. Strutture algebriche. Operazioni standard su  $K^n$ . Polinomi, equazioni algebriche.

### Matrici

Operazioni. Trasformazioni elementari. Matrici a gradini. Permutazioni. Determinante. Proprietà dei determinanti. Sviluppo di Laplace. Inversione di una matrice..

### Spazi vettoriali

Definizioni ed esempi. Sottospazi vettoriali. Sistema di generatori. Dipendenza lineare. Basi e dimensione. Coordinate rispetto ad una base. Somma e intersezione di sottospazi. Formula di Grassmann.



**Trasformazioni lineari.**

Definizione ed esempi. Endomorfismi. Isomorfismi. Nucleo e immagine. Matrici associate ad una trasformazione lineare. Cambiamento di base. Rango di una matrice. Teorema di Kronecker.

**Sistemi lineari.**

Risolubilità, teorema di Rouchè-Capelli. Sistemi di Cramer. Algoritmo di Gauss.

**Rappresentazioni di sottospazi.**

Rappresentazioni cartesiane e parametrica.

**Autovalori ed autovettori.**

Autovalori, autovettori e autospazi di un endomorfismo e di una matrice. Matrici simili. Polinomio caratteristico. Diagonalizzazione per similitudine di matrici ed endomorfismi.

**Forme bilineari e quadratiche.**

Matrici particolari. Forme bilineari. Rappresentazione matriciale. Matrici simmetriche. Forme quadratiche. Forme canoniche.

**Spazi vettoriali euclidei.**

Prodotti scalari. Ortogonalità. Insiemi ortonormali. Operatori ortogonali. Ortogonalità fra sottospazi.

**Spazi affini ed euclidei.**

Spazi e trasformazioni affini. Sottospazi affini. Rappresentazioni di sottospazi. Parallelismo. Ortogonalità.

**Iperquadriche.**

Definizioni generali. Coniche reali nel piano affine ed euclideo.

**Testi consigliati**

CASALI M.R., GAGLIARDI C., GRASSELLI L., *Geometria*, Progetto Leonardo, Bologna, 2001 (testo ufficiale del corso).

GUALANDRI L., *Esercizi di algebra lineare e geometria*, Progetto Leonardo, Bologna, 1995.

**GEOMETRIA E ALGEBRA LB****CE, cds: dui, dul**

Docente: **Michele Mulazzani** prof. ass.

- Forma canonica di Jordan per matrici reali e complesse
- Diagonalizzazione di matrici normali
- Forme quadratiche reali
- Geometria differenziale di curve e superfici nello spazio

**Testo consigliato:**

S. ABEASIS, *Complementi di Algebra Lineare e Geometria*, Zanichelli, Bologna, 1993.

**GEOMETRIA E ALGEBRA LB****BO, cds: T, L, I**

Docente: **Anna Luisa Gilotti** prof. ass.

**Richiami sugli spazi metrici reali e complessi**, i proiettori ortogonali, il procedimento di ortonormalizzazione di Gram-Schmidt e la diagonalizzazione di endomorfismi.

Forma triangolare di una matrice. Matrici hermitiane, matrici unitarie: proprietà. Il teorema spettrale. La decomposizione spettrale di una matrice.

**Forme quadratiche reali.** Nullità e segnatura di una forma quadratica, invarianti per congruenza. Il Teorema di Sylvester. Forma canonica affine e metrica di una forma quadratica. Criteri di positività e di semipositività. Applicazione allo studio locale dei punti di una superficie.

**Coniche e quadriche:** Cambiamenti di coordinate cartesiane nello spazio e nel piano. La classificazione affine delle coniche e delle quadriche attraverso gli invarianti.

**La forma canonica di Jordan** di un endomorfismo  $T$ . Sottospazi  $T$ -invarianti e matrici a blocchi Separazione degli autovalori e la riduzione all'autovalore nullo: la decomposizione di Fitting.

Endomorfismi nilpotenti e proprietà. la costruzione della base di Jordan per un endomorfismo nilpotente attraverso i diagrammi di stringhe. Il teorema fondamentale.

**Gruppi (abeliani) quoziente, spazi vettoriali quoziente.** Il 1° teorema di omomorfismo. Il teorema di Lagrange. Le congruenze degli interi modulo  $m$ . I gruppi  $Z_m$ . La funzione di Eulero.

Lo spazio duale, il biduale.

**Elementi di geometria proiettiva:** le coordinate omogenee, il piano proiettivo, le curve algebriche piane, lo studio locale dei punti

**Elementi di geometria differenziale:** Rappresentazioni parametriche per le curve, retta tangente e piano osculatore. Proprietà differenziali metriche delle curve: l'ascissa curvilinea, la curvatura e la torsione. Rappresentazioni parametriche per le superfici, le rigate. Curve coordinate della superficie Piano tangente. Cenni alle proprietà metriche.

*Testo:*

S. ABEASIS, *Complementi di Algebra Lineare e Geometria* (ed. Zanichelli).

Con riferimento al testo: Capitoli: 1, 2, 3, 4 (paragrafo 1), 5, 7 (paragrafi 1, 2, 4, 7) 8 (fino al paragrafo 4, cenni del 5)

## GEOMETRIA E ALGEBRA LS

CE, cds: S

Docente: **Michele Mulazzani** prof. ass.

- Forma canonica di Jordan per matrici reali e complesse
- Diagonalizzazione di matrici normali
- Forme quadratiche reali
- Geometria differenziale di curve e superfici nello spazio

*Testo consigliato:*

S. ABEASIS, *Complementi di Algebra Lineare e Geometria*, Zanichelli, Bologna, 1993.

## GEOSTATISTICA APPLICATA

BO, cds: R

Docente: **Roberto Bruno** prof. ass.

L'Insegnamento illustra la Teoria delle Variabili Regionalizzate, base probabilistica teorica della Geostatistica, al fine di ricavarne strumenti adeguati per la soluzione dei più significativi problemi applicativi nel campo Ambientale e delle Georisorse, come ad esempio la valutazione

quantitativa (stima) di una o più grandezze campionate solo in pochi punti dello spazio di lavoro, la produzione di cartografie ottimizzate, la valutazione (stocastica) dei rischi legati al superamento di determinati valori di soglia, la caratterizzazione quantitativa della variabilità spaziale o spazio-temporale delle grandezze utili, etc.

## Programma

### Geostatistica lineare

*Geostatistica Monovariata Stazionaria* - Variabili Aleatorie e Funzioni Aleatorie; la autocorrelazione spaziale: Variogramma e Covarianza Spaziale; i Variogrammi sperimentali e modello; Varianze: di Estensione, di Stima, di Dispersione; la stima lineare: Krigaggio Ordinario e Krigaggio Semplice; La Regolarizzazione.

*Geostatistica Monovariata Non Stazionaria* - Funzioni Aleatorie Non Stazionarie; la Deriva; il Krigaggio Universale; La Deriva Esterna; le Funzioni Aleatorie Intrinseche di grado  $k$  (FAI- $k$ ); la Covarianza Generalizzata; Il Krigaggio di FAI- $k$ .

*Geostatistica Multivariata* - Le cross-correlazioni; Variogrammi incrociati; Modelli di cross-correlazione: il Modello Lineare; il Co-krigaggio; Il Krigaggio di Componenti; Il Co-Krigaggio di FAI- $k$ .

### Geostatistica non Lineare

*Stimatori non Lineari* - La Speranza Condizionale; il Krigaggio delle indicatrici ed il Krigaggio Disgiuntivo; i modelli: mosaico, isofattoriale, gaussiano discreto; il Cambio di Supporto: Stima Globale e Stima Locale.

*Modelli simulati* - Modelli Numerici Stimati e Simulati; Simulazione Condizionata e Non Condizionata; Anamorfoosi: Grafica ed Ermitiana; La Simulazione Sequenziale od Autoregressiva: La Simulazione mediante "Bandes Tournantes"; altre tecniche di Simulazione.

### Esercitazioni

Le esercitazioni, che costituiscono parte integrante dell'Insegnamento, verranno realizzate prevalentemente utilizzando il Laboratorio Didattico Informatico del DICMA. In particolare verranno sviluppate le seguenti attività: Applicazioni pratiche degli algoritmi studiati a lezione, Richiami di programmazione FORTRAN, Sviluppo ed implementazione di un programmi di calcolo per la soluzione di problemi specifici, Calcolo numerico al PC delle relazioni teoriche della settimana precedente.

### Testi consigliati:

- R. BRUNO, G. RASPA, *La Pratica Della Geostatistica Lineare*, Ed. A. Guerini & Ass., Milano, 1994.  
 A. JURNEL-C. HUIJBREGTS, *Minings Geostatistics*, Academic Press Inc Ltd, London, 1978.  
 J. RIVOIRARD, *Non Linear Geostatistics*, Clarendon Press Oxford, Oxford, 1994.  
 H. WACKERNAGEL, *Multivariate Geostatistics*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1995.

### Esami

L'esame, orale, prevede la discussione di un lavoro applicativo su un tema scelto dallo studente e sviluppato in una tesina, da consegnare una settimana prima.

**GEOTECNICA**

BO, cds: R, D, C

Docente: **Pier Vincenzo Righi** prof. ord.

**OBBIETTIVI E FINALITÀ DEL CORSO:** fornire agli allievi le principali nozioni relative al comportamento fisico-meccanico delle terre e le conoscenze necessarie per affrontare i numerosi problemi inerenti il suolo nell'ambito delle costruzioni.

**PROGRAMMA**

1) *Introduzione e premesse generali* - Vari tipi di suolo e loro caratteristiche fondamentali - Proprietà delle particelle fini.

2) *Caratteristiche fisiche* delle terre e loro determinazione sperimentale - Umidità - Densità - Peso specifico reale - Porosità e indice dei vuoti - Granulometria - Limiti di Atterberg - Permeabilità.

3) *Caratteristiche meccaniche* delle terre e loro determinazione sperimentale - Compressibilità (teoria dell'edometro) - Angolo di attrito interno e coesione (prova di taglio Casagrande - prova triassiale - prova di taglio con scissometro).

4) *Prove in situ* - Prove di carico con piastra - Prova penetrometrica (penetrometro statico a penetrometro dinamico) - Vane test campale.

5) *Equilibrio delle terre* - Pressione litostatica - Componente orizzontale della tensione. Equilibri limiti - Terreno con estradosso orizzontale - Terreno con estradosso inclinato.

6) *Diffusione delle pressioni nel sottosuolo* - Teoria di Boussinesq - Teoria di Frolich - Vari tipi di rappresentazione grafica - Superfici di carico a rigidità nulla e a rigidità infinita - Metodi approssimati.

7) *Formule di stabilità* - Carico critico - Teoria di Froelich - Carico di rottura - Teorie di Rankine - Ritter - Prandtl - Caquot - Terzaghi.

8) *Applicazioni pratiche delle teorie svolte.*

9) *Spinte delle terre sulle opere di sostegno* - spinta attiva e resistenza passiva - teorie di Coulumb e Rankine - costruzioni grafiche.

10) *Stabilità dei pendii* - Classificazione delle frane - Effetti dell'acqua nel sottosuolo - Equazione generale per pendio illimitato - Strumentazione delle frane - Metodi di verifica secondo Fellenius e Bishop - Interventi per il consolidamento delle frane: trincee drenanti; pozzi drenanti; muri di sostegno a tiranti - Effetti dello scavo di una trincea e della costruzione di un terrapieno su un pendio - Percorsi di tensione relativi.

11) *Pali di fondazioni* - Pali infissi - Pali realizzati in opera - Formule statiche e dinamiche per la definizione della capacità portante del palo singolo - Ripartizione del carico tra attrito laterale e portata di base.

*Testi consigliati:*

P. COLOMBO-F. COLLESELLI, *Elementi di geotecnica*, ed. Zanichelli, 1966.

C. CESTELLI GUIDI, *Geotecnica e tecnica delle fondazioni*, ed. Hoepli.

K. TERZAGHI-R.B. PECK, *Geotecnica*, ed. UTET.

R. LANCELOTTA, *Geotecnica*, ed. Zanichelli.

*Propedeuticità consigliate:* Idraulica e Scienza delle costruzioni.

*Esami orali.*

**GEOTECNICA L**Docente: **Guido Gottardi****BO, cds: C**

**Analisi e classificazione delle terre.** Processi di formazione del terreno. Principali tipi di terre. Componenti mineralogiche e caratteristiche strutturali. Caratteristiche fisiche delle terre e proprietà indice. Analisi granulometrica. Limiti di Atterberg. Sistemi di classificazione delle terre.

**L'acqua nel terreno.** Proprietà dell'acqua interstiziale. Principio delle tensioni efficaci. Fenomeni di capillarità, ritiro e rigonfiamento. Moti di filtrazione attraverso un mezzo poroso. La legge di Darcy e il coefficiente di permeabilità. Pressione di filtrazione e gradiente idraulico critico. Moti di filtrazione 2D, costruzione del reticolato di flusso.

**Tensioni litostatiche.** Il terreno come mezzo continuo. Rappresentazione dello stato tensionale, convenzioni di segno. Profilo delle tensioni litostatiche verticali. Coefficiente di spinta a riposo. Storia dello stato tensionale. Pressione di preconsolidazione e cause di sovraconsolidazione. Distribuzione elastica delle tensioni nel sottosuolo.

**Compressibilità e consolidazione.** La prova di compressione edometrica. Il processo di consolidazione monodimensionale secondo Terzaghi. Parametri edometrici e calcolo dei cedimenti. Consolidazione secondaria.

**Resistenza al taglio delle terre.** Criterio di rottura di Mohr-Coulomb. Parametri di resistenza al taglio e loro determinazione sperimentale. Prove di taglio diretto e di compressione triassiale. Resistenza e deformabilità dei terreni incoerenti e coesivi. Resistenza al taglio residua. Verifiche di stabilità a breve e lungo termine.

**Le indagini geotecniche.** Finalità e mezzi di indagine. Sondaggi e prelievo di campioni. Prove in sito: prove penetrometriche statiche e dinamiche, prova con piezocono, prova scissometrica. Misure in sito.

**Stati di equilibrio limite e spinta delle terre.** Equilibrio limite attivo e passivo, coefficienti di spinta, diagrammi di spinta. Altezza critica di una parete verticale.

**Stabilità dei pendii.** Pendio indefinito. Analisi di stabilità con metodi dell'equilibrio limite. Altri metodi. Parametri di resistenza al taglio nelle analisi di stabilità. Cenni sui movimenti franosi e sulle modalità di intervento.

**Opere di sostegno.** Tipologie e metodi di calcolo delle spinte. Verifiche di stabilità.

**Fondazioni.** Fondazioni dirette e profonde: tipologie e tecniche esecutive. Capacità portante di fondazioni superficiali secondo Rankine e Terzaghi. Verifiche a breve e lungo termine. Calcolo dei cedimenti delle fondazioni. Pali battuti, a cassaforma infissa e trivellati. Formule statiche e dinamiche per pali di fondazione, portata di base e per attrito laterale.

**Normativa geotecnica vigente.**

**GEOTECNICA L**Docente: **Guido Gottardi****BO, cds: R**

**Analisi e classificazione delle terre.** Processi di formazione del terreno. Principali tipi di terre. Componenti mineralogiche e caratteristiche strutturali. Caratteristiche fisiche delle terre e proprietà indice. Analisi granulometrica. Limiti di Atterberg. Sistemi di classificazione delle terre.

**L'acqua nel terreno.** Proprietà dell'acqua interstiziale. Principio delle tensioni efficaci. Fenomeni di capillarità, ritiro e rigonfiamento. Moti di filtrazione attraverso un mezzo poroso. La legge di Darcy e il coefficiente di permeabilità. Pressione di filtrazione e gradiente idraulico critico. Moti di filtrazione 2D, costruzione del reticolato di flusso.

**Tensioni litostatiche.** Il terreno come mezzo continuo. Rappresentazione dello stato tensionale,

convenzioni di segno. Profilo delle tensioni litostatiche verticali. Coefficiente di spinta a riposo. Storia dello stato tensionale. Pressione di preconsolidazione e cause di sovraconsolidazione. Distribuzione elastica delle tensioni nel sottosuolo.

**Compressibilità e consolidazione.** La prova di compressione edometrica. Il processo di consolidazione monodimensionale secondo Terzaghi. Parametri edometrici e calcolo dei cedimenti. Consolidazione secondaria.

**Resistenza al taglio delle terre.** Criterio di rottura di Mohr-Coulomb. Parametri di resistenza al taglio e loro determinazione sperimentale. Prove di taglio diretto e di compressione triassiale. Resistenza e deformabilità dei terreni incoerenti e coesivi. Resistenza al taglio residua. Verifiche di stabilità a breve e lungo termine.

**Le indagini geotecniche.** Finalità e mezzi di indagine. Sondaggi e prelievo di campioni. Prove in sito: prove penetrometriche statiche e dinamiche, prova con piezocono, prova scissometrica. Misure in sito.

**Stati di equilibrio limite e spinta delle terre.** Equilibrio limite attivo e passivo, coefficienti di spinta, diagrammi di spinta. Altezza critica di una parete verticale.

**Stabilità dei pendii.** Pendio indefinito. Analisi di stabilità con metodi dell'equilibrio limite. Altri metodi. Parametri di resistenza al taglio nelle analisi di stabilità. Cenni sui movimenti franosi e sulle modalità di intervento.

**Normativa geotecnica vigente.**

## GESTIONE AZIENDALE

Docente: **Andrea Zanoni** prof. ord.

BO, cds: G\_BO, I

### *Obiettivo e contenuti del corso*

Il corso affronta il processo decisionale di un'impresa fornendo adeguate conoscenze metodologiche circa l'esame delle principali variabili che influenzano le singole decisioni e le modalità da seguire nell'implementazione delle stesse.

L'enfasi del corso è rivolta alla soluzione dei problemi e si vuole abituare gli studenti ad affrontare gli stessi con una logica di processo.

### *Programma*

Il corso prevede la spiegazione dei principali processi decisionali esistenti in impresa. Essi, a livello didattico ed in una prima fase, saranno analizzati distinguendo il momento strategico da quello operativo e verranno affrontati con ottiche funzionali.

Gli argomenti affrontati sono:

– la formulazione della strategia

l'analisi settoriale e l'individuazione del vantaggio competitivo

l'individuazione delle aree strategiche d'affari

le strategie di base e le modalità per la creazione delle posizioni di vantaggio

lo sviluppo dell'impresa attraverso iniziative di crescita interna ed esterna

– l'implementazione delle decisioni a livello funzionale con particolare attenzione a:

la gestione operativa

la gestione commerciale.

Si cercherà quindi di ricomporre il processo decisionale enfatizzando sia gli aspetti interfunzionali sia l'approccio per processi. Questi obiettivi verranno perseguiti a livello didattico mediante la discussione in aula di casi aziendali ed invitando dirigenti ed operatori aziendali a svolgere testimonianze guidate. Tali esperienze verranno poi razionalizzate e ricondotte ai modelli generali e al contesto italiano.

**Modalità d'esame e sua preparazione**

L'esame prevede una prova orale. Le date d'esame e le modalità di iscrizione vengono gestite utilizzando il sistema Uniwex della Facoltà.

**Il testo di riferimento per la preparazione è:**

ROBERT M. GRANT, *L'analisi strategica per le decisioni aziendali*, ed. Il Mulino, Bologna, 1999.

Esso dovrà essere integrato, a scelta dello studente, da uno dei seguenti testi:

GEA CONSULENTI ASSOCIATI, *Management made in Italy: il modello italiano delle imprese di successo*, ed. Il sole 24 ore libri, Milano, 1996.

GIAMPIERO BUSELLU, MASSIMO MERLINO, GIORGIO SPAGNI (a cura di), *L'economia delle 24 ore: competere nei settori chiave senza limiti di tempo*, ed. Olivares, Milano, 2000.

**Letture propedeutiche consigliate**

La comprensione e l'assimilazione dei sopraindicati libri risulterà facilitata, soprattutto agli studenti che non possono frequentare le lezioni, da letture propedeutiche che introducano le tematiche produttive e commerciali delle imprese. A questo scopo può essere utilizzata tutta la manualistica in materia.

**GESTIONE DELL'ENERGIA**

BO, cds: G\_Bo, M

Docente: Enrico Lorenzini prof. ord.

· Nozioni di illuminotecnica. Modelli matematici. Statistiche Energetiche. Domande di autovalutazione. Energia ed Exergia. Exergoeconomia. Rendimenti di I e II postulato della T.

· Analisi exergetica. Emergia. Analisi emergetica. Curve logistiche. Q. di E. per una definita popolazione.

· Il ruolo dell'Energy Manager. Analisi di investimenti aziendali. Macchine ad energia totale. Pompe di calore. Riscaldamento urbano ed interdipendenze industriali. Contabilità energetica.

· Scambiatori di calore. Dimensionamento scambiatori di calore.

· Nozioni sui combustibili. Metodologie ed opportunità di risparmio energetico. Risparmio energetico negli impianti elettrici industriali. Nozioni di termotecnica applicata alle costruzioni edilizie. Exergia di processo ed exergia di impianto.

**Trasporto molecolare**

Trasporto molecolare. Trasporto di materia, calore, quantità di moto. Fluidi non newtoniani. Applicazione della teoria del trasporto molecolare allo stato non stazionario con generazione interna. Trasporto turbolento. Distribuzione delle velocità del moto turbolento. Trasporto di calore e di materia nel moto turbolento. Analisi matematica del moto turbolento. Sviluppi fondamentali del moto turbolento. Lo strato limite. L'analogia di Reynolds. L'analogia di Colburn. L'analogia di Martinelli. Teoria della penetrazione.

**Ebollizione**

Trasporto di calore in presenza di un cambiamento di fase. Flusso bifase. Determinazione della caduta di pressione. Dimensionamento di bocche di efflusso. Fenomeni di instabilità e metastabilità.

**Bilancio termico in transitorio**

Riscaldamento di ambienti industriali

Ricuperi interni di calore. Cogenerazione di elettricità e calore. Il problema dell'energia.

Analisi di regressione e correlazione verifica ipotesi sul valore medio. Ecologia applicata alla protezione dell'ambiente dall'inquinamento. Le varie forme dell'energia primaria. Impieghi dell'energia solare. Rifiuti e biomasse. Il problema della sicurezza. Attribuzione di costi unitari separati a prodotti ottenuti congiuntamente.

Il fabbisogno energetico dell'umanità e il caso Italia.

*Esame scritto e orale.*

### *Bibliografia*

GUGLIELMINI, PISONI, *Elementi di trasmissione del calore*, Ed. Veschi.

A. SPENA, *Fondamenti di energetica*, Ed. CEDAM.

ENEA: *Metodologie di risparmio energetico*, Ed. HOEPLI.

## **GESTIONE DELL'INNOVAZIONE E DEI PROGETTI**

**BO, cds: Q, G\_Bo**

Docente: **Maurizio Sobrero** prof. ord.

### *Obiettivo e contenuti dell'Insegnamento*

Si vuole fornire le conoscenze necessarie per comprendere le variabili economico-organizzative che influenzano la gestione dei processi di innovazione tecnologica nelle imprese industriali e di servizi. Dopo aver introdotto gli elementi fondamentali dell'analisi economica dell'innovazione e le condizioni di contesto – economiche e istituzionali – che impattano sulle capacità innovative delle imprese, l'Insegnamento sviluppa gli aspetti organizzativi e gestionali del processo innovativo, riservando attenzione specifica all'analisi strategica delle scelte tecnologiche d'impresa, all'organizzazione dell'area ricerca e sviluppo e alla sua integrazione con le altre funzioni aziendali, alla valutazione economica dei progetti di innovazione, alla gestione dei progetti di sviluppo di nuovi prodotti e processi.

### *Programma*

L'Insegnamento si articola nelle seguenti parti:

1. Innovazione tecnologica e gestione del patrimonio tecnologico dell'impresa.
  - Innovazione tecnologica e sviluppo economico: le teorie economiche rilevanti.
  - Tecnologia, innovazione tecnologica e struttura dei settori industriali.
  - Le fonti funzionali dell'innovazione: innovazioni sviluppate dagli utilizzatori, dai produttori, dai fornitori.
  - L'interpretazione economica e competitiva delle fonti dell'innovazione.
  - Tipologie di innovazioni.
  - Patrimonio tecnologico e posizione competitiva dell'impresa.
  - Il processo innovativo: fasi e decisioni critiche.
  - Sviluppo interno e forme di sviluppo esterno del patrimonio tecnologico.
  - Processi innovativi e relazioni fra imprese: le relazioni con i fornitori.
  - Il portafoglio progetti.
2. Organizzazione e gestione della R&S e dei progetti.
  - Le strutture organizzative di base della funzione R&S.
  - Problemi di gestione delle risorse umane nell'attività di R&S.
  - Il trasferimento tecnologico: l'integrazione inter funzionale.
  - Caratteristiche specifiche della gestione per progetti.



- Le variabili organizzative del project management.
  - Strutture e ruoli organizzativi di progetto.
  - La dimensione gestionale delle tecniche di programmazione e controllo dei progetti.
  - Il ruolo del project manager.
  - La gestione multi progetto.
3. Analisi dei progetti di investimento.
- I calcoli di convenienza economica.
  - Gli investimenti: tipologie e analisi finanziaria.
  - Formule di interesse e di attualizzazione.
  - Modelli di analisi e di valutazione degli investimenti: VAN, TIR, IRA, ecc.
  - Problemi e tecniche di valutazione in condizioni di incertezza
  - La valutazione degli investimenti a valenza strategica.
  - Valutazione e selezione del portafoglio progetti di R&S.

#### Modalità d'esame

L'esame prevede una prova scritta e una prova orale le cui date verranno fissate in base al calendario della Facoltà e comunicate mediante Uniweb.

Lo studente deve sostenere l'orale nell'appello fissato immediatamente dopo la data in cui ha superato la prova scritta.

Gli studenti che hanno superato la prova scritta sono automaticamente iscritti alla prova orale immediatamente successiva.

Non sono previsti appelli al di fuori delle sessioni ufficiali d'esame.

#### Testi Consigliati

- R.A. BREALEY, S.C. MYERS, S. SANDRI, *Capital Budgeting*, McGraw Hill, Milano, 1999, Cap. 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11.
- M. SOBRERO (a cura di), *Gestione dell'innovazione: Strategia, Organizzazione, Tecniche Operative*, Carrocci Editore, Roma, 1999.
- R.D. ARCHIBALD, *Project Management: la Gestione di Progetti e Programmi Complessi*, Franco Angeli, Milano, 1977.

## GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE

BO, cds: R, C

Docente: **Alberto Montanari** prof. ass.

#### Finalità del corso

L'insegnamento si propone di trattare i concetti fondamentali per la gestione razionale di sistemi di approvvigionamento idrico e reti di bonifica. Saranno in particolare considerati la stima dei fabbisogni idrici, la gestione dei serbatoi e delle reti irrigue. È inoltre prevista la trattazione di metodi di modellazione delle qualità delle acque superficiali, nonché tecniche di analisi di serie temporali idrologiche e generazione di dati sintetici.

#### Programma delle lezioni

Obiettivi della pianificazione delle risorse idriche.

Stima dei fabbisogni idrici. Fonti di approvvigionamento idrico convenzionali e non convenzionali. Vincoli qualitativi all'utilizzo delle risorse idriche.

Modelli di qualità fluviale. Equazione di bilancio di massa monodimensionale. Sottomodello

idraulico, termico e biochimico. L'ipotesi di assenza di dispersione. Modello di Streeter-Phelps.

Gestione ottimale dei serbatoi. Definizione delle funzioni di costo e beneficio associate alle regole di gestione. Tecniche di ricerca dei minimi di funzioni obiettivo.

Tecniche di simulazione stocastica per l'ottimizzazione della gestione dei serbatoi. Analisi delle serie storiche idrologiche. Tecniche di stima delle oscillazioni stagionali. Generazione di serie sintetiche con modelli univariati e multivariati.

Reti di bonifica. Calcolo dei fabbisogni irrigui. Calcolo delle portate di piena. Dimensionamento dei canali di bonifica e dei relativi manufatti accessori principali. Tracciamento dei profili del pelo libero. Dimensionamento degli impianti di sollevamento.

Cenni sugli effetti di possibili cambiamenti climatici e interventi antropici sulla disponibilità di risorse idriche.

### *Programma delle esercitazioni*

Durante il corso saranno svolte esercitazioni assistite, mediante utilizzo di calcolatori elettronici, che prevedono la soluzione pratica di problemi attinenti gli argomenti trattati nelle lezioni teoriche. Sono previste lezioni di introduzione all'utilizzo di fogli elettronici e linguaggi di programmazione per la soluzione degli esercizi proposti.

### *Tesi di laurea*

Modelli matematici per l'analisi e la simulazione della dinamica dei processi idrologici. Metodologie di generazione di serie idrologiche sintetiche.

Progettazione e verifica di reti idriche.

Analisi statistica di serie di precipitazioni e deflussi fluviali.

Il docente è disponibile a valutare tesi di laurea su altri argomenti proposti dallo studente.

### *Testi consigliati*

Una selezione di testi consigliati verrà proposta durante il corso.

## **GIACIMENTI MINERARI**

**BO, cds: R**

Docente: **Roberto Bruno** prof. ass.

### *Finalità dell'Insegnamento:*

L'insegnamento si propone di fornire gli elementi di base per la definizione, caratterizzazione e gestione delle principali georisorse. Viene fatto riferimento alle materie prime minerali (metallifere e non metallifere, solide e fluide, energetiche e non energetiche) e per altre georisorse oggetto di sfruttamento da parte dell'uomo, quali ad esempio suolo e sottosuolo.

L'approccio è di tipo modellistico ed intende dotare lo studente delle metodologie di base per la elaborazione quantitativa delle grandezze naturali e dei parametri tecnico-economico ed ambientali che intervengono, come informazioni di base dei progetti specifici di sfruttamento, nella identificazione e valorizzazione di una georisorsa.

### *Programma*

L'insegnamento è suddiviso in una parte di teoria e studio delle georisorse (Lezioni) ed in una parte di acquisizione delle metodologie necessarie alla caratterizzazione delle stesse (Esercitazioni).

Vengono introdotte alcune definizioni fondamentali sulle georisorse e sulle materie prime minerali in particolare, sui problemi di classificazione e di gestione, sulla problematica di passaggio da risorsa a riserva e sull'impatto del loro sfruttamento. Una sostanziale parte dell'insegnamento viene incentrata sia sulla Giacimentologia classica (La classificazione dei giacimenti minerali. Le Provincie Metallogeniche. I giacimenti affiliati a rocce di vario tipo), sia sulle Materie Prime Minerali non metallifere (I Minerali Industriali, Le Rocce Ornamentali). Con riferimento a questa parte dell'insegnamento viene sviluppata la caratterizzazione tecnico-economica di un giacimento e la teoria relativa alle Risorse ed alle Riserve recuperabili.

L'insegnamento, in altra parte, si occupa specificamente delle georisorse fluide, con riferimento agli idrocarburi, alle risorse idrogeologiche ed a quelle geotermiche.

Vengono infine introdotte le tematiche relative ad altre georisorse, quali il suolo ed il sottosuolo, il cui uso non può ormai prescindere da un approfondito studio conoscitivo e valutativo sia delle potenzialità, sia degli impatti.

### *Esercitazioni*

Nel corso delle esercitazioni verranno forniti gli elementi e le metodologie geostatistiche di base per lo studio dei parametri utilizzati per descrivere le georisorse.

Vengono altresì sviluppate le teorie e le tecniche di modellizzazione per le diverse tipologie di georisorse e di problemi applicativi (es. ottimizzazione della prospezione, selezione delle riserve recuperabili, etc.) Vengono inoltre forniti i codici di calcolo su PC per lo svolgimento di un lavoro pratico di caratterizzazione di una georisorsa, che, sotto forma di tesina, costituisce parte integrante dell'esame orale.

### *Visite e viaggi di istruzione*

È consigliata la partecipazione alle visite ed ai viaggi di istruzione annualmente organizzate a cave, miniere ed impianti.

### *Tesi di laurea*

Lavori di modellistica innovativa applicata alla caratterizzazione di una georisorsa.

### *Testi consigliati:*

#### *Lezioni*

EDWARDS R. and ATKINSON K., *Ore Deposit Geology*, Hapman & All, London, 1986.

PARK C.F. and MACDIARMAC R.A., Ed. B. De Vivo e F. Ippolito, *Giacimenti Minerali*, Liguori Editore, Napoli, 1988.

ZUFFARDI P., *Giacimentologia e prospezione mineraria*, Pitagora Editrice, Bologna, 1986.

ARCHER LUTTIG and SNEZHKO, *Man Dependence on the Earth*, UNESCO, Paris and Schweizerbart, Stuttgart, 1987.

BLUNDEN J., *Mineral Resources and Their Management*, Longman, London, 1989.

Articoli e dispense fornite dal docente.

### *Esercitazioni*

JOURNAL A.G. and HUUBREGHTS CH., *Mining Geostatistics*, Academic Press, London, 1978.

BRUNO R. e RASPA G., *La pratica della Geostatistica Lineare*, Ed. Guerini & Ass., Milano, 1994.

Articoli e dispense fornite dal docente.

*Propedeuticità consigliate:* Geologia, Mineralogia e Petrografia.

**IDRAULICA AMBIENTALE**

BO, cds: R, C

Docente: **Vittorio Di Federico** prof. straord.**1. Generalità**

Grandezze e unità di misura. Analisi dimensionale. Schemi di mezzo continuo. Densità, viscosità, comprimibilità. Equazione di stato. Equazione di continuità.

**2. Idrostatica**

Equazioni globali e puntuali della statica. Azione dei liquidi sopra superfici in quiete. Misure di pressione nei fluidi in quiete. Spinta su superfici piane e gobbe. Equilibrio dei corpi immersi o galleggianti.

**3. Dinamica dei fluidi**

Tensore degli sforzi e tensore delle velocità di deformazione. Equazioni costitutive. Fluidi newtoniani e non newtoniani.

Velocità e accelerazione dei fluidi in moto. Teorema della quantità di moto. Equazioni di Eulero. Teoremi di Bernoulli.

Equazioni di Navier e di Stokes. Esperimento di Reynolds: moto laminare e turbolento. Equazioni di Reynolds e tensore di Reynolds.

Azioni idrodinamiche contro superfici solide. Foronomia. Moto uniforme nelle condotte. Perdite di carico effettivo per brusche variazioni di sezione. Sifoni. Reti di condotte. Impiego di pompe e turbine. Impianti di pompaggio.

Trasformazioni di energia nei corsi a pelo libero; correnti lente e veloci. Risalto idraulico. Altre dissipazioni concentrate: stramazzi e paratoie. Moto uniforme e moto permanente nei condotti a pelo libero. Canale Venturi.

Moti di filtrazione.

Moto vario nelle condotte: oscillazioni di massa e colpo d'ariete. Metodo delle caratteristiche. Propagazioni ondose nei canali ed onde di piena. Onde di mare.

Cenni di modellistica fisica e misure idrauliche.

**Testi consigliati**

MARCHI, RUBATTA, *Meccanica dei Fluidi*, UTET, Torino, 1981.

CITRINI, NOSEDA, *Idraulica*, CEA, Milano, 1987.

ALFONSI, ORSI, *Problemi di Idraulica e Meccanica dei Fluidi*, CEA, Milano, 1984.

**Esami**

L'esame prevede una prova scritta (eventualmente frazionata in prove parziali in itinere) ed una orale.

**Tesi di Laurea**

Sono disponibili Tesi di Laurea di indirizzo teorico e applicativo.

**IDRAULICA L**

BO, cds: C

Docente: **Vittorio Di Federico** prof. straord.**1. Generalità**

Grandezze e unità di misura. Analisi dimensionale. Schemi di mezzo continuo. Densità, viscosità, comprimibilità. Equazione di stato. Equazione di continuità.

## 2. Idrostatica

Equazioni globali e puntuali della statica. Azione dei liquidi sopra superfici in quiete. Misure di pressione nei fluidi in quiete. Spinta su superfici piane e gobbe. Equilibrio dei corpi immersi o galleggianti.

## 3. Dinamica dei fluidi

Tensore degli sforzi e tensore delle velocità di deformazione. Equazioni costitutive. Fluidi newtoniani e non newtoniani.

Velocità e accelerazione dei fluidi in moto. Teorema della quantità di moto. Equazioni di Eulero. Teoremi di Bernoulli.

Equazioni di Navier e di Stokes. Esperimento di Reynolds: moto laminare e turbolento. Equazioni di Reynolds e tensore di Reynolds.

Azioni idrodinamiche contro superfici solide. Foronomia. Moto uniforme nelle condotte. Perdite di carico effettivo per brusche variazioni di sezione. Sifoni. Reti di condotte. Impiego di pompe e turbine. Impianti di pompaggio.

Trasformazioni di energia nei corsi a pelo libero; correnti lente e veloci. Risalto idraulico. Altre dissipazioni concentrate: stramazzi e paratoie. Moto uniforme e moto permanente nei condotti a pelo libero. Canale Venturi.

Moti di filtrazione.

Moto vario nelle condotte: oscillazioni di massa e colpo d'ariete.

### Testi consigliati

MARCHI, RUBATTA, *Meccanica dei Fluidi*, UTET, Torino, 1981.

CITRINI, NOSEDA, *Idraulica*, CEA, Milano, 1987.

ALFONSI, ORSI, *Problemi di Idraulica e Meccanica dei Fluidi*, CEA, Milano, 1984.

### Esami

L'esame prevede una prova scritta (eventualmente frazionata in prove parziali in itinere) ed una orale.

### Tesi di Laurea

Sono disponibili Tesi di Laurea di indirizzo teorico e applicativo.

## IDRAULICA LB

BO, cds: R

Docente: **Vittorio Di Federico** prof. straordinario.

### Programma

#### 1. Complementi di Meccanica dei Fluidi

Fluidi reali. Equazione di Navier-Stokes.

#### 2. Correnti in pressione

Moto vario: equazioni del moto e di continuità. Celerità. Oscillazioni di massa. Colpo d'ariete. Pozzo piezometrico. Cassa d'aria.

#### 3. Correnti a superficie libera

Richiami sul moto uniforme e sui profili di moto permanente per alvei cilindrici. Moto vario.

Equazione di De Saint-Venant. Cenni a fenomeni ondosi e onde di piena. Cenni di idraulica fluviale: trasporto solido, erosioni, sistemazioni.

#### 4. Similitudine e modelli.

Leggi di similitudine e numeri puri. Similitudine di Reynolds e di Froude. Modelli fisici (cenni).

#### 4. Idraulica sotterranea

Il mezzo poroso: proprietà e scale di osservazione. Acquiferi confinati e non. Approccio del continuo: porosità e velocità di filtrazione. Conduttività idraulica e Legge di Darcy. Equazione di continuità e carico idraulico. Permeabilità direzionale: ellissoide di anisotropia. Anisotropia: il tensore di permeabilità. Generalizzazioni della legge di Darcy. Equazioni deterministiche del flusso. Pozzi artesiani e freatici. Cenni al trasporto di soluti in mezzi porosi.

#### Testi consigliati

MARCHI, RUBATTA, *Meccanica dei Fluidi*, UTET, Torino, 1981.

CITRINI, NOSEDA, *Idraulica*, CEA, Milano, 1987.

G. DE MARSILY, *Quantitative Hydrogeology*, Academic Press, 1980.

#### Esami

L'esame prevede una prova scritta (eventualmente frazionata in prove parziali in itinere) ed una orale.

#### Tesi di Laurea

Sono disponibili Tesi di Laurea di indirizzo teorico e applicativo.

## IDROGEOLOGIA APPLICATA

BO, cds: R, C, Q

Docente: Fulvio Ciancabilla prof. ord.

#### Considerazione introduttiva

- L'acqua in natura - Ciclo dell'acqua.
- Caratteristiche idrogeologiche delle rocce e dei terreni - Distribuzione dell'acqua nel sottosuolo.
- Moto dell'acqua nel sottosuolo - Le falde acquifere.
- La cartografia idrogeologica: costruzione ed interpretazione delle carte.
- I bacini di alimentazione idrogeologici, loro determinazione e loro rappresentazione cartografica.
- Le sorgenti: descrizione dei principali tipi e loro classificazione.
- Caratterizzazione delle acque sorgive.
- Le acque e le sorgenti termominerali - Circuiti termominerali.
- Caratterizzazione ed uso delle acque termominerali.
- Le opere di captazione delle acque sorgive - La protezione delle sorgenti.
- Rappresentazione ed interpretazione delle analisi chimiche e chimico fisiche delle acque.
- I sistemi di monitoraggio applicabili ai bacini idrogeologici; descrizione delle principali apparecchiature impiegate.
- Le perforazioni impiegate per lo studio degli acquiferi - I piezometri ed il loro monitoraggio.

- I pozzi per la produzione d'acqua: Prove in pozzo per stabilire le caratteristiche degli acquiferi.
- I drenaggi, loro caratteristiche e loro impiego.
- La depurazione delle acque provenienti dal sottosuolo.
- Cenni alle ricerche di acque sotterranee.

*Propedeuticità consigliata:* Meccanica dei fluidi nel sottosuolo.

## **IDROLOGIA**

**BO, cds: R, C**

Docente: **Ezio Todini** prof. ord.

### **Programma e obiettivi formativi specifici**

Obiettivo del corso di Idrologia è la descrizione qualitativa e quantitativa dei vari fenomeni legati al ciclo idrologico e la valutazione degli elementi utili in fase progettuale degli interventi di sistemazione idraulica del territorio.

A tale fine, viene innanzitutto fornita la descrizione degli strumenti per l'acquisizione dei dati idro-meteorologici e delle metodologie di trattamento dati per l'analisi dei fenomeni alla scala puntuale e di sottobacino.

Vengono trattate separatamente tutte le componenti del ciclo idrologico, partendo da una descrizione quanto più possibile fisica e basata su equazioni differenziali, per giungere anche a modelli semplificati. In particolare vengono studiati: l'intercettazione, l'evapo-traspirazione, l'accumulo e lo scioglimento del manto nevoso, l'infiltrazione, la formazione del ruscellamento, il deflusso in superficie ed in falda, il deflusso in rete drenante.

Vengono poi descritte le metodologie ed i modelli distribuiti e a scala di bacino necessari alla determinazione delle portate nei corsi d'acqua ed al loro trasferimento a sezioni vallive, con particolare attenzione alla determinazione delle portate e dei volumi di progetto.

Infine, il programma di Idrologia è completato da un corso di base di statistica, con particolare attenzione all'analisi dei valori estremi di pioggia e di portata, per consentire le opportune progettazioni in funzione del rischio di superamento.

### *Testi consigliati*

- BENJAMIN, J.R. e CORNELL, C.A.** 1970: *Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers*. McGraw-Hill.
- EAGLESON, P.S.** 1970: *Dynamic Hydrology*. McGraw-Hill.
- GREPPI, M.** 1999: *Idrologia*. Ulrico Hoepli. Milano.
- MOISELLO, U.** 1998: *Idrologia Tecnica*. La goliardica Pavese. Pavia.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION** 1994: *Guide to Hydrological Practices*. WMO n. 168. Ginevra.

### **Tesi di Laurea**

- Analisi puntuale e regionalizzata dei valori estremi di pioggia e di portata.
- Modellistica fisica dei processi a scala di versante o di bacino con particolare riguardo ai fenomeni di piena.
- Modellistica afflussi-deflussi per la previsione ed il controllo delle piene.
- Modellistica di propagazione di piena.
- Modellistica di infiltrazione e di deflusso in falda acquifera.

Dimensionamento di opere di sistemazione idraulica: arginature, casse d'espansione, serbatoi.

Ottimizzazione e gestione in tempo reale dei serbatoi.

## **IDROLOGIA I**

Docente: **Ezio Todini** prof. ord.

**BO, cds: C**

### **Programma e obiettivi formativi specifici**

Obiettivo del corso di Idrologia è la descrizione qualitativa e quantitativa dei vari fenomeni legati al ciclo idrologico.

A tale fine, viene fornita la descrizione degli strumenti per l'acquisizione dei dati idro-meteorologici e delle metodologie di trattamento dati per l'analisi dei fenomeni alla scala di sottobacino.

Vengono poi descritte le metodologie ed i modelli necessari alla determinazione delle portate nei corsi d'acqua ed al loro trasferimento a sezioni vallive, con particolare attenzione alla determinazione delle portate e dei volumi di progetto.

Il corso prevede infine una analisi dei processi stocastici, ed in particolare dell'analisi dei valori estremi di pioggia e di portata, per consentire le opportune progettazioni in funzione del rischio di superamento.

### *Testi consigliati*

BENJAMIN, J.R. e CORNELL, C.A. 1970: *Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers*. McGraw-Hill.

EAGLESON, P.S. 1970: *Dynamic Hydrology*. McGraw-Hill.

GREPPI, M. 1999: *Idrologia*. Ulrico Hoepli. Milano.

MOISELLO, U. 1998: *Idrologia Tecnica*. La goliardica Pavese. Pavia.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION 1994: *Guide to Hydrological Practices*. WMO n. 168. Ginevra.

### **Tesi di Laurea**

Analisi puntuale e regionalizzata dei valori estremi di pioggia e di portata.

Modellistica fisica dei processi a scala di versante o di bacino con particolare riguardo ai fenomeni di piena.

Modellistica afflussi-deflussi per la previsione ed il controllo delle piene.

Modellistica di propagazione di piena.

Modellistica di infiltrazione e di deflusso in falda acquifera.

Dimensionamento di opere di sistemazione idraulica: arginature, casse d'espansione, serbatoi.

Ottimizzazione e gestione in tempo reale dei serbatoi.

## **IDROLOGIA II**

Docente: **Stefano Pilati** ass. ord.

**BO, cds: C**

L'Insegnamento illustra i modelli matematici per lo studio del deflusso delle acque sotterranee, nel campo saturo e insaturo, e dei principali fenomeni ad esso connessi, dal punto di vista sia



quantitativo che qualitativo; e introduce le successive applicazioni numeriche nell'ambito della gestione delle risorse idriche a scala regionale.

Il ciclo idrologico e le acque sotterranee. La zona di aerazione e la zona satura; gli acquiferi e loro classificazione. Il mezzo poroso. Bilancio regionale dell'acqua sotterranea e sue componenti.

L'equazione del moto (Darcy) e la conducibilità idraulica. L'approccio idraulico (moto 2-D nel piano orizzontale) al modo negli acquiferi e la trasmissività.

Il modello matematico di simulazione del deflusso 3-D nella zona satura: le intergranulari; la capacità specifica di accumulo; l'equazione di bilancio di massa; le condizioni iniziali e al contorno.

Il modello matematico del deflusso 2-D negli acquiferi (approccio idraulico): capacità di accumulo elastica e anelastica; equazioni di continuità per i vari tipi di acquifero; condizioni iniziali e al contorno. Esempi di soluzione analitica. La sovrapposizione degli effetti. Le mappe idrologiche.

I fenomeni di subsidenza e consolidamento.

Il modello matematico del deflusso nella zona insatura: capillarità e curve di ritenzione; equazioni del moto e di bilancio di massa; condizioni iniziali e al contorno. Il modello matematico generale per il deflusso nel dominio saturo e/o insaturo.

Il fenomeno della ingressione dell'acqua di mare e in un acquifero costiero: generalità; il modello matematico semplificato (approccio idraulico); il problema gestionale.

Introduzione ai modelli numerici di simulazione: cenni sui metodi delle differenze finite e degli elementi finiti; modelli a celle; schemi espliciti, impliciti e centrati.

Il problema di qualità: il trasporto degli inquinanti e la dispersione idrodinamica; l'equazione della avvezione-dispersione; le sostanze non reattive e reattive; gli schemi semplificati.

*Testi consigliati:*

J. BEAR, A. VERRUIJT, *Modeling groundwater flow and pollution*, Reidel Publishing Company, 1987.

J. BEAR, *Hydraulics of groundwater*, McGraw-Hill, 1979.

M.P. ANDERSON, W.W. WOESSNER, *Applied groundwater modeling*, Academic Press, 1992.

*Insegnamenti propedeutici consigliati:* Idraulica, Idrologia.

## **IMPIANTI AEROSPAZIALI L**

**FO, cds: dua, cla**

Docente: **Virginio Bagassi** prof. inc.

*Richiami di aerodinamica degli aeromobili.*

*Introduzione alla modellizzazione dei sistemi dinamici.*

Modellizzazione di sistemi dinamici semplici nel continuo e nel discreto. Le equazioni differenziali come modelli di sistemi fisici. Sistemi lineari e non lineari e tecniche di risoluzione. La risposta dei sistemi del primo e del secondo ordine.

**Dinamica del velivolo e qualità di volo.**

Modello della dinamica del velivolo. Modelli approssimati nel piano longitudinale e latero-direzionale. Risposta del velivolo ai comandi di volo nel corso delle diverse manovre. Richiamata. Virata. Controllo della velocità. Controllo dell'angolo di traiettoria. Introduzione alle qualità di volo.

**Sistemi di aumento della stabilità ed autopilota.**

Sistemi di controllo automatico per l'aumento della stabilità. Sistemi di controllo automatico per la guida del velivolo in crociera ed in manovra. Sensori ed attuatori.

**Strumenti di bordo e di navigazione.**

Strumenti esistenti a bordo dei velivoli. Uso degli strumenti da parte del pilota nel corso della navigazione, delle manovre in volo e nelle fasi di decollo ed atterraggio.

**IMPIANTI BIOCHIMICI****BO, cds: Q**

Docente: Carlo Gostoli prof. straord.

L'Insegnamento si propone di integrare le conoscenze di base per l'analisi dei sistemi biologici e di fornire i criteri e le metodologie per la progettazione di impianti industriali che utilizzano entità biologiche. Verranno in particolare considerati gli impianti della microbiologia industriale, non escludendo cenni e settori affini, quali i processi per la trasformazione e la valorizzazione delle materie prime agricole.

**Programma**

**Introduzione:** Microorganismi di interesse industriale, selezione e miglioramento genetico, metabolismo ed energetica delle cellule. Cellule animali e vegetali. Esempi di processi di fermentazione (produzione di biomasse, metabolici primari, antibiotici).

**Enzimi:** cinetica enzimatica, tecniche di immobilizzazione, reattori enzimatici.

**Crescita microbica:** Cinetiche di crescita, rese di crescita, stechiometria e bilanci di massa. Coltura continua in chemostato. Modelli di crescita strutturati e segregati. Popolazioni miste.

**Bioreattori:** bioreattori continui, discontinui, fed-batch. Reologia dei mosti di fermentazione, agitazione e aerazione. Criteri di scale-up, strumenti e tecniche di controllo. Reattori airlift, reattori a biomassa immobilizzata. Sterilizzazione dei terreni, degli apparati, dell'aria.

**Recupero dei prodotti:** Omogeneizzazione chiarificazione dei brodi, estrazione liquido-liquido, precipitazione, separazioni cromatografiche, tecniche di separazione a membrana.

**Testi consigliati:**

J.E. BAILEY, D. OLLIS, *Biochemical Engineering Fundamentals*, McGraw Hill, 1986.

A.H. SCRAGG, *Bioreactors in Biotechnology*, Ellis Horwood, 1991.

K. SCHUGERL, *Bioreaction Engineering* (2 Vol.), John Wiley, 1991.

R. RAUTENBACH, R. ALBERT, *Membrane Process*, John Wiley, 1989.

**IMPIANTI BIOCHIMICI AMBIENTALI**

BO, cds: Q

Docente: Massimo Nocentini prof. ass.

In questo Insegnamento saranno trattati i processi e gli impianti biologici per la bonifica di siti inquinanti (terreno e acque di falda).

Introduzione alla problematica della contaminazione dei suoli. Costituenti principali del suolo. Distribuzione e trasporto degli inquinanti nel terreno (adsorbimento nel terreno, cenni sul trasporto in falda e nell'insaturo, biodisponibilità).

Tecnologie e impianti per la bonifica biologica in-situ e on-site di terreni e acque di falda (attenuazione naturale, bioventing, biosparging, barriere biologiche, land farming, biopile, bioslurry, impianti pump and treat, bioslurping, biofiltrazione).

Studi di biotrattabilità e criteri per la scelta delle tecnologie, studi in impianti pilota, test in campo. Stima dei costi di bonifica. Monitoraggio dei processi di bonifica biologica.

Esame orale

**Bibliografia Obbligatoria**

NORRIS, HINCHEE, BROWN, MAC CARTY et al., *Handbook of Bioremediation*, Lewis Publishers, 1994.

EVAN K. NYER, *Practical Techniques For Groundwater And Soil Remediation*, Lewis publishers, 1997.

**IMPIANTI CHIMICI I**

BO, cds: Q

Docente: Valerio Cozzani, prof. ass.

Oggetto dell'insegnamento è lo studio di alcune operazioni unitarie ("unit operations") dell'ingegneria chimica finalizzato all'apprendimento di criteri per la scelta e la progettazione delle relative apparecchiature di processo. L'obiettivo principale del corso è di fornire le conoscenze necessarie alla comprensione dei vincoli di funzionamento e dei criteri di dimensionamento di tali apparecchiature.

1) Dimensionamento di apparecchiature di processo. Cenni ai documenti progettuali. Specifiche di progetto. Specifiche costruttive. Variabili di progetto e utilizzo dei gradi di libertà nella progettazione. Tipologie di vincoli progettuali. Vincoli esterni. Procedure logiche di dimensionamento e verifica di apparecchiature di processo.

2) Scambio termico in assenza di cambiamento di fase. Richiami sulla trasmissione del calore. Descrizione dei principali tipi di scambiatori di calore e criteri di scelta. Standard costruttivi. Dimensionamento di scambiatori di calore liquido/liquido in assenza di cambiamento di fase: scambiatori a doppio tubo, a fascio tubiero, a serpentino o semitubo. Tubi alettati. Refrigeranti ad aria. Cenni su batterie di scambiatori di calore

3) Scambio termico in presenza di cambiamento di fase. Richiami sul fenomeno della condensazione e sulla teoria di Nusselt. Descrizione delle principali apparecchiature per la condensazione. Dimensionamento di condensatori di vapori puri. Condensatori di vapori in presenza di incondensabili. Condensatori di vapori misti. Condensatori/sottoraffreddatori e condensatori/desurriscaldatori. Condensatori a ricadere. Richiami sul fenomeno dell'evaporazione. Descrizione dei principali tipi di evaporatori e criteri di scelta. Dimensionamento di evaporatori a singolo stadio e di reboiler di fondo colonna.

4) Apparecchiature per lo scambio di materia gas/liquido. Richiami sulle operazioni di scambio di materia. Descrizione dei principali tipi di apparecchiature e criteri di scelta. Colonne a piatti: particolari costruttivi, fluidodinamica dei piatti, definizioni di rendimento dei piatti e loro correlazione. Colonne a riempimento: grado di vuoto e area superficiale, tipologie e caratteristiche dei riempimenti random e strutturati, regimi di funzionamento, perdite di carico. Confronto tra colonne a piatti e colonne a riempimento.

5) Assorbimento e stripping. Richiami sulle operazioni di assorbimento e stripping. Descrizione dei principali tipi di apparecchiature e criteri di scelta. Dimensionamento delle colonne di assorbimento a piatti per sistemi a uno o più componenti. Dimensionamento delle colonne di assorbimento a riempimento: metodo delle unità di trasporto. Disposizioni impiantistiche: ripristino continuo o discontinuo della fase liquida, strategie di separazione basate sull'abbinamento di colonne di assorbimento e stripping.

6) Distillazione. Richiami sugli equilibri liquido-vapore in sistemi multicomponente. Flash adiabatico. Distillazione differenziale. Rettifica. Distillazione continua. Calcolo del numero di stadi teorici per sistemi binari. Colonne complete, di arricchimento puro, di esaurimento puro. Dimensionamento delle colonne di distillazione a piatti per sistemi binari. Cenni sul calcolo di colonne di distillazione per la separazione di miscele a più componenti: metodo di Lewis-Matthewson, metodi short-cut. Distillazione discontinua. Calcolo del numero di stadi teorici, dimensionamento e verifica di colonne di distillazione in discontinuo. Cenni sulla distillazione in corrente di vapore, azeotropica ed estrattiva. Disposizioni impiantistiche: strategie di separazione per distillazione convenzionali ed alternative, controllo e regolazione delle colonne di distillazione.

7) Umidificazione e deumidificazione. Definizione di umidità in sistemi gas/liquido. Diagrammi psicrometrici. Temperatura di saturazione adiabatica e di bulbo umido. Operazioni ideali e reali di variazione dell'umidità: umidificazione adiabatica, deumidificazione, raffreddamento dell'acqua.

**Esame:** l'esame consiste in una prova scritta ed una prova orale.

#### *Bibliografia:*

D. KERN, *Process heat transfer*, Mc Graw - Hill.

R.E. TREYBAL, *Mass transfer operations*, Mc Graw - Hill.

J.M. COULSON, J.F. RICHARDSON, *Chemical Engineering*, Pergamon Press (vol. 1, 2 e 6).

J.D. SEADER, E.J. HENLEY, *Separation process principles*, J. Wiley.

Per le parti la cui trattazione non è compresa in tali opere, si può far riferimento a schemi, appunti e diagrammi di calcolo depositati presso la Biblioteca della Facoltà.

## **IMPIANTI CHIMICI II**

**BO, cds: Q**

Docente: **Giovanni Camera Roda** prof. ass.

Oggetto dell'Insegnamento è, da un lato, lo studio di alcune operazioni fondamentali dell'industria chimica, a completamento dell'argomento già in parte trattato nell'insegnamento precedente; dall'altro, lo studio dei fondamenti di teoria del reattore chimico.

Per la prima parte il fine è quello stesso del corso d'Impianti Chimici; nella trattazione dei fondamenti di teoria del reattore chimico lo scopo è quello di acquisire gli strumenti di calcolo e di analisi dei principali tipi di reattore in uso presso l'industria chimica.

## Programma

### *Operazioni aventi alla base il trasferimento di quantità di moto.*

Il problema della determinazione delle perdite di carico per il moto di fluidi nelle situazioni tipiche dell'ingegneria chimica. Calcolo del diametro ottimo di un condotto.

Equazioni per il calcolo di linee di trasporto di fluidi newtoniani e non-newtoniani; di fluidi comprimibili; di sistemi eterogenei gas-liquido, solido-liquido, solido-gas.

Metodi per la soluzione di problemi relativi a reti di condotti.

Calcolo delle perdite di carico in riempimenti granulari. Fluidizzazione: generalità e fondamenti di teoria del processo di fluidizzazione.

Sedimentazione: generalità ed elementi di teoria del processo di separazione per sedimentazione. Principali modelli di calcolo di un sedimentatore.

Filtrazione: generalità e tipi d'impianto di filtrazione. Elementi di teoria della filtrazione e calcolo dei parametri principali di progetto e operativi. Impianti di filtrazione continui e discontinui. Tempo ottimo di un'operazione di filtrazione.

### *Operazioni aventi alla base il trasferimento simultaneo di calore e di materia.*

Evaporazione e cristallizzazione. Generalità. Impianti d'evaporazione a singolo e multiplo effetto. L'integrazione dell'evaporatore nell'economia generale di un impianto.

Elementi di cinetica del processo di cristallizzazione. Le apparecchiature per la cristallizzazione.

Essiccamento. Generalità.

Elementi di cinetica del processo d'essiccamento. Calcolo delle apparecchiature di essiccamento.

Umidificazione e deumidificazione. Richiami di teoria, con particolare riferimento al problema del raffreddamento dell'acqua.

*Reattori chimici.* Generalità. I tipi di reattori usati nell'industria chimica: alcune considerazioni intorno ai criteri fondamentali di scelta.

Richiami fondamentali di cinetica chimica. Espressione della velocità di reazione per sistemi reagenti omogenei ed eterogenei e per sistemi complessi di reazioni chimiche: reazioni catalitiche, reazioni enzimatiche, reazioni a catena con particolare riferimento alle reazioni di polimerizzazione.

Elementi di catalisi eterogenea: adsorbimento fisico e chemi-adsorbimento; processi diffusivi all'esterno e all'interno del catalizzatore.

Fattore di efficienza di un catalizzatore: definizione e calcolo per le geometrie tipiche in condizioni isoterme e no. Criteri pratici per la determinazione del regime dominante il processo catalitico.

Reazioni gas-liquido: generalità e individuazione dei parametri caratteristici di calcolo di un reattore gas-liquido.

I modelli ideali di un reattore chimico e gli elementi fondamentali di calcolo in condizioni isoterme e no, in presenza di una reazione singola e di un sistema complesso di reazioni chimiche; resa, selettività e problemi di ottimo. Analisi del funzionamento di un reattore chimico: determinazione dello stato stazionario.

Batterie di reattori chimici: generalità e studio di alcune situazioni tipiche.

Reattori adiabatici a stadi multipli: problemi di ottimo. Considerazioni sugli scostamenti dei reattori chimici dai modelli fluidodinamici ideali. Elementi di calcolo di reattori catalitici eterogenei. Modelli di calcolo per reattori a letto fisso e a letto mobile.

**Testi consigliati:**

- G.F. FROMENT, K.B. BISCHOFF, *Chemical Reactor Analysis and Design*, John Wiley and Sons, New York, 1979.
- O. LEVENSPIEL, *Ingegneria delle reazioni chimiche*, Casa Editrice Amrbosiana, Milano, 1978.
- K.G. DENBIGH, J.C.R. TURNER, *Teoria dei reattori chimici*, Principi Generali, Etas Libri, Milano, 1978.
- A. ARIS, *Elementary Chemical Reactor Analysis*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1969.

Per i rimanenti argomenti del programma, i testi e i manuali usuali che trattano delle operazioni unitarie dell'industria chimica.

Per alcuni argomenti verrà fatto, di volta in volta, riferimento a trattazioni specifiche reperibili in letteratura.

**Esame:** scritto e orale.

**Svolgimento degli esami:** l'esame si compone di una prova scritta e di un colloquio orale; il superamento della prova scritta consente di accedere al colloquio orale.

**Propedeuticità consigliate:** Fisica tecnica, Chimica fisica, Principi di ingegneria chimica.

**IMPIANTI DELL'INDUSTRIA ALIMENTARE****BO, cds: Q**

Docente: **Giovanni Camera Roda** prof. ass.

**Introduzione**

Metodi per lo studio dei processi dell'industria alimentare. I processi dell'industria alimentare visti come operazioni unitarie e loro peculiarità nell'industria alimentare. Scelta delle alternative impiantistiche in base a considerazioni ingegneristiche, Operazioni continue e discontinue.

**Principi elementari**

Caratteristiche e proprietà chimico-fisiche degli alimenti e delle materie prime.

**Operazioni unitarie e loro applicazione nell'industria alimentare**

Separazioni ed operazioni meccaniche

- Filtrazione
- Centrifugazione
- Miscelazione
- Macinazione
- Estrusione.

Separazioni con trasporto di materia e calore

- Lavaggio
- Separazioni a membrana
- Distillazione
- Estrazione
- Assorbimento
- Concentrazione ed essiccamento



- Cristallizzazione
  - Congelamento e liofilizzazione.
- Reazioni importanti nell'industria alimentare
- Fermentazione
  - Pastorizzazione
  - Sterilizzazione
  - Cottura.

Per i vari argomenti vengono illustrati esempi e problemi.

Viene esanimata anche a titolo esemplificativo una certa casistica di impianti nell'industria delle conserve, dei succhi di frutta, dello zucchero, ecc.

## IMPIANTI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA

BO, cds: E

Docente: **Alberto Borghetti ric.**

### Obiettivi

Il corso si propone di fornire la descrizione degli elementi impiantistici dei diversi tipi di centrali elettriche che alimentano la rete di trasmissione nazionale e di fornire le conoscenze alla base della gestione e, limitatamente alla parte elettrica, della progettazione di esse. Sono quindi approfonditi temi del corso di Sistemi elettrici per l'energia strettamente connessi con la gestione ed il progetto delle centrali elettriche.

Il corso, inoltre, si propone di fornire la descrizione dei diversi tipi di impianti di produzione di energia elettrica inseriti all'interno di sistemi elettrici industriali o collegati direttamente a reti di distribuzione pubblica di media e bassa tensione, con particolare riguardo agli impianti di produzione da fonti rinnovabili.

### Lezioni

1. Generalità sugli impianti di produzione dell'energia elettrica che alimentano la rete di trasmissione nazionale.
2. Ottimizzazione della produzione dell'energia elettrica.
  - 2.1 Programmazione giornaliera delle generazioni di potenza attiva: dispacciamento ottimo delle potenze generate - Dispacciamento a eguali costi incrementali o eguali costi incrementali corretti con fattori di penalità delle perdite.
  - 2.2 Definizione del parco di unità di produzione in servizio per la copertura del diagramma di carico - La riserva rotante - I vincoli tecnici dei gruppi termoelettrici - La soluzione del problema: liste di priorità e programmazione dinamica - Sistemi a generazione mista idro-termoelettrici.
  - 2.3 Il mercato dell'energia elettrica - Il sistema verticalmente integrato - I mercati concorrenziali: il gestore del mercato, il gestore della rete di trasmissione, i servizi ausiliari di sistema.
3. Circuiti elettrici delle centrali e loro protezione
  - 3.1 Connessione dell'impianto di produzione alla rete di trasmissione nazionale - Stazioni elettriche: caratteristiche generali; schemi a semplice sistema di sbarre; schemi a sbarre multiple; schemi ad anello - Inserimento in rete e punto di consegna: inserimento su stazioni esistenti; inserimento su linee esistenti.
  - 3.2 Rappresentazione e schemi elettrici tipici delle centrali italiane - Servizi ausiliari degli im-

pianti di produzione dell'energia elettrica, in particolare delle centrali termoelettriche - Loro alimentazione in fase di avviamento e arresto - Riavvio di una centrale termoelettrica e procedura di ripristino del servizio dopo black-out; influenza della liberalizzazione del mercato dell'energia elettrica. - Criteri di scelta dello stato del neutro - Alimentazione in corrente continua dei servizi di emergenza - Tipi di accumulatori e loro caratteristiche esterne.

3.3 Protezioni dei circuiti elettrici principali e dei circuiti elettrici secondari - Protezione dei circuiti di statore del generatore dai contatti a massa, dai contatti tra le fasi e dai contatti tra spire della stessa fase - Protezione differenziale - Protezioni contro il ritorno di energia, di minima frequenza, di massima tensione, di massimo flusso e contro la perdita di campo - Protezione del circuito di eccitazione dai contatti a massa - Protezione dei trasformatori di centrale.

#### 4. Elementi impiantistici di diversi tipi di centrale e loro regolatori di velocità e potenza

4.1 Centrali idroelettriche e centrali di pompaggio - Tipi principali ed elementi costitutivi - Nozioni di idrologia - Impianti idroelettrici ad alta caduta - Determinazioni della funzione di trasferimento della potenza meccanica in funzione dell'apertura del distributore: modelli per liquido incomprimibile e per liquido comprimibile; tempo di avviamento della condotta; periodo del colpo di ariete; coefficiente di Allievi - Regolatore di velocità di un gruppo idroelettrico: strutture e comportamenti tipici.

4.2 Centrali termoelettriche a vapore - Interazioni fra generatore di vapore e turbina: modello di turbina a vapore per il calcolo della potenza; controllo della velocità nelle turbine a vapore; dinamica della pressione nei generatori di vapore; regolazione della potenza generata: modalità caldaia-segue, turbina-segue; coordinato. Cenni sul controllo del livello nel corpo cilindrico - Modello della centrale termoelettrica a vapore in modalità caldaia segue.

4.3 Descrizione di alcuni tipi di centrali nucleari - Cenni sulla regolazione della velocità e della potenza attiva nelle centrali nucleari.

4.4 Centrali con turbine a gas - Cenni sul modello dinamico di un gruppo turbogas.

4.5 Centrali geotermoelettriche: schemi tipici delle centrali italiane.

4.6 Inquinamento prodotto dalle centrali - Problemi connessi con la produzione dell'energia elettrica: danni e pericoli causati all'ambiente ed alle persone.

#### 5. Generatori sincroni e regolazione della tensione nelle centrali elettriche

5.1 Richiami della teoria delle macchine sincrone in regime dinamico: parametri subtransitori e transitori; modelli dinamici per la simulazione dei transitori elettromeccanici.

5.2 Regolazione della tensione e della potenza reattiva - Sistemi di eccitazione degli alternatori e loro caratteristiche - Asservimento del regolatore di tensione al carico dell'alternatore - Ripartizione della potenza reattiva tra gli alternatori di una centrale

6. Generazione distribuita: impianti di produzione di energia elettrica, anche da fonte rinnovabile (eolica e solare), connessi a reti di distribuzione di media e bassa tensione.

7 Codici ingegneristici di simulazione del funzionamento dinamico delle centrali - Cenni ai metodi di risoluzione numerica impiegati - Descrizione della struttura di codice modulare e di alcuni moduli elettrici di esso (generatore, motori asincroni, regolatori, carichi).

#### Esercitazioni

Il corso comprende esercitazioni in aula ed al computer ed è completato da visite ad impianti di produzione di cui viene in precedenza illustrato il funzionamento e lo schema elettrico.



## Testi consigliati

Le dispense del corso sono messe a disposizione nel sito <http://www.ing.unibo.it/nucci/>. Nelle dispense sono indicati alcuni riferimenti a testi e memorie ritenuti utili per l'approfondimento dei singoli argomenti. Si indica qui una lista di alcuni testi di carattere generale.

DINO ZANOBETTI, *Centrali e generatori elettrici*, Patron, Bologna, 1952.

CORRADO GENESIO, EZIO VOLTA, *Produzione dell'energia elettrica*, secondo volume di *Impianti elettrici*, Patron, Bologna, 1954.

MARIO MAINARDIS, *Centrali elettriche*, Ulrico Hoepli, Milano, 1957.

GIORGIO QUAZZA, *Controllo dei processi*, Clup, Milano, 1973.

RENZO ROVA, *Centrali elettriche*, Cleup, Padova, 1978.

CAMILLO ZANCHI, *Centrali elettriche* (parte prima: *Elementi di economia sulla produzione dell'energia elettrica*, Masson Italia, Milano, 1977; parte seconda con FRANCESCO LIONETTI: *Centrali idroelettriche*, Tamburini, Milano, 1976; parte terza: *Centrali termoelettriche*, Masson Italia, Milano, 1979).

FRANCESCO GAGLIARDI, VALERIO MANGONI, *Produzione della energia elettrica*, L'ateneo, Napoli, 1984.

GIUSEPPE EVANGELISTI, *Impianti idroelettrici*, Patron, Bologna, 1986.

CLAUDIO MAFFEZZONI, *Controllo dei generatori di vapore*, Masson, Milano, 1990.

CLAUDIO MAFFEZZONI, *Dinamica dei generatori di vapore*, Masson, Milano, 1990.

BRITISH ELECTRICITY INTERNATIONAL, *Modern Power Station Practice*, Pergamon Press, 1993.

ALLEN J. WOOD, BRUCE WOLLEMBERG, *Power generation, operation, and control*, Second edition, John Wiley & Sons, 1996.

GIORGIO CORBELLINI, *Impianti elettrici - parte 3: Centrali elettriche di produzione e regolazioni primarie di rete*, La goliardica pavese, Pavia, 1998.

## IMPIANTI ELETTRICI

BO, cds: G\_BO, E

Docente: Gianni Pattini prof. ass.

L'insegnamento si propone di fornire le basi teoriche ed applicative necessarie per la progettazione di impianti elettrici di media e bassa tensione. Si propone altresì di affrontare le problematiche connesse alla sicurezza degli impianti elettrici.

### Programma.

1. *Introduzione al dimensionamento degli Impianti elettrici.* - Fenomeni termici associati al passaggio della corrente elettrica e integrale di Joule (energia specifica). Portata dei cavi e loro comportamento in c.to c.to. Cavi per media e bassa tensione, blindosbarre.

2. *Interruzione della corrente elettrica e apparecchiature di manovra e protezione.* - Transitorio di instaurazione di un c.to c.to. Transitorio di interruzione con arco lungo, camera di interruzione. Transitori di interruzione con arco corto. Apparecchi di manovra e protezione. Selettività nell'intervento delle protezioni. Quadri elettrici di bassa e media tensione

3. *La sicurezza negli impianti elettrici.* - Effetti fisiologici della corrente, curve di sicurezza. Protezione dai contatti diretti e indiretti in BT, MT e AT. Impianti di terra

4. *Dimensionamento degli impianti di MT.* - Cabine di pubblica distribuzione. Cabine di

utente, prescrizioni dell'ENEL. Esempio applicativo di dimensionamento di una cabina con coordinamento protezioni e selettività.

5. *Dimensionamento degli impianti di BT.* – Coordinamento protezioni-linee. Impianti di rifasamento. Esempio di dimensionamento di impianti industriali di BT.

6. *Impianti elettrici con sorgenti di energia particolari.* – Cenni sul principio di funzionamento dei generatori sincroni. Comportamento dinamico (c.to c.to dei generatori sincroni). Gruppi elettrogeni e di cogenerazione. Esercizio sulla verifica dei dimensionamenti degli impianti di bt alimentati da GE. Gruppi di continuità e relative batterie.

#### Testi consigliati

- A. PAOLUCCI, *Lezioni di impianti Elettrici*, CLEUP, 1995.  
 A. PAOLUCCI, *Lezioni di trasmissione dell'energia elettrica*, CLEUP, 1990.  
 D. ZANOBETTI, M. PEZZI, *Lezioni di Impianti elettrici*, CLUEB, Bologna, 1981.  
 P. CHIZZOLINI, N. FALETTI, *Trasmissione e distribuzione della energia elettrica*, Patron, 1985.  
 R. SELLATO, G. BUCCIANI, F. TOMAZZOLI, *Apparecchi di manovra e protezione*, Editoriale Del-fino, 1989.  
 V. CATALIOTTI, G. MORANA, *Impianti elettrici di illuminazione*, PROMOTEC, 1993.  
 V. CARRESCIA, *Impianti a Norme CEI nei cantieri edili*, TNE, 1994.  
 V. CARRESCIA, LO PIPARO, *Elettroquesiti n. 3*, TNE, 1996.  
 Guida CEI 11-35, *Guida all'esecuzione delle cabine elettriche d'utente*, 1996.  
 F. MASTROMAURO, *Dispense di Impianti Elettrici*, La Goliardica flavese, 1996.  
 V. CARRESCIA, *Fondamenti di sicurezza Elettrica*, TNE, 1997.  
 G. COLOMBO, *Manuale dell'Ingegnere*, HOEPLI.  
 Guida CEI 11-37, *Guida all'esecuzione degli impianti di terra negli stabilimenti industriali per sistemi di I, II e III categoria*, 1997.

## IMPIANTI INDUSTRIALI

BO, cds: G\_Bo, M

Docente: **Emilio Ferrari** prof. straord.

### Finalità del corso

Il corso si propone di fornire i criteri generali, ed i corrispondenti metodi matematici per le relative decisioni impiantistiche, che presiedono alla scelta, alla progettazione e alla realizzazione degli impianti industriali.

### Programma del corso

#### 1 – Criteri generali di scelta degli impianti industriali

Studio di fattibilità e di mercato. Scelta del prodotto e del ciclo produttivo. Definizione qualitativa del diagramma di lavorazione. Valutazione dei costi preventivi di realizzazione e di esercizio. Scelta della potenzialità produttiva, sulla base del confronto costi/prezzi. Valutazione economica della iniziativa.

#### 2 – Progettazione e realizzazione degli impianti industriali

Scelta della ubicazione. Studio della disposizione planimetrica dell'impianto. Definizione del

ciclo di lavoro: diagrammi tecnologici quantitativi e diagrammi di flusso dei materiali. Analisi dei rapporti fra le attività di servizio e relativo diagramma. Produzione in linea o per reparti. Group technology. Scelta delle macchine, attrezzature ed apparecchiature di produzione. Definizione delle esigenze di spazio e confronto con le disponibilità. Stesura ed analisi del diagramma delle relazioni fra gli spazi. Considerazioni di modifica e limitazioni pratiche. Formulazione delle alternative di lay-out, anche con l'ausilio di programmi di calcolo, e criteri di scelta del lay-out ottimale. Stesura del progetto esecutivo. Tempi e metodi di realizzazione dell'impianto con applicazione di tecniche reticolari. Sviluppo e controllo delle varie fasi di realizzazione.

### 3 - Linee di tendenza dell'automazione nei sistemi produttivi

Sistemi flessibili di fabbricazione (FMS) e di montaggio (FAS). Stazioni di controllo automatico. Sistemi automatici di trasporto interno (con carrelli AGV) e di immagazzinamento (con trasloelevatori). La fabbrica come sistema integrato di produzione (CIM).

**Esame:** scritto e orale

*Testo consigliato:*

A. PARESCHI, *Impianti industriali*, Collana Progetto Leonardo, Ed. Esculapio, Bologna, 1994.

*Testi di utile consultazione:*

F. TURCO, *Principi generali di progettazione degli impianti industriali*, C.L.U.P., Milano, 1990.

R.L. FRANCIS, J.A. WHITE, *Facility lay-out and location: an analytical approach*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.

A. BRANDOLESE, *Studio del mercato e del prodotto*, C.L.U.P., Milano, 1977.

D. DEL MAR, *Operations and industrial management*, McGraw-Hill, 1985.

A. BRANDOLESE, M. GARETTI, *Processi produttivi. Criteri tecnici di scelta e progettazione*, C.L.U.P., Milano, 1982.

R.J. TERSINE, *Production/operations management*, North Holland, New York, 1985.

A. MONTE, *Elementi di Impianti Industriali*, Ed. Cortina, Torino, 1982, 1-2.

## IMPIANTI INDUSTRIALI LA

BO, cds: G\_Bo

Docente: **Alberto Regattieri** prof. ass.

### Finalità del corso

Il corso si propone di fornire i criteri generali, ed i corrispondenti metodi matematici per le relative decisioni impiantistiche, che presiedono alla scelta, alla progettazione e alla realizzazione degli impianti industriali.

In particolare vengono sviluppate le tematiche dello studio di fattibilità, nei suoi fondamentali passi di studio del mercato e del prodotto, di scelta del processo e dei servizi, di scelta della potenzialità produttiva ottimale e di valutazione economica dell'iniziativa.

Inoltre oggetto del corso sono anche gli strumenti per l'effettuazione della scelta della migliore ubicazione di un impianto industriale.

### Programma del corso

#### GENERALITÀ SUGLI IMPIANTI INDUSTRIALI

Definizioni fondamentali di impianto industriale

**Classificazione dei sistemi di produzione**

Gli impianti di servizio

**STUDIO DI FATTIBILITÀ**

Principali modelli per la previsione della domanda di mercato

Individuazione del volume delle vendite aziendali

Lo studio del prodotto

Scelta del ciclo produttivo e definizione del diagramma di lavorazione

Definizione dei servizi necessari alla produzione

Scelta della potenzialità produttiva ottimale

Valutazione economica della redditività degli investimenti industriali

**LA SCELTA DELL'UBICAZIONE DI UN IMPIANTO INDUSTRIALE**

I principali fattori ubicazionali

Fondamentali modelli qualitativi per la determinazione della ubicazione ottimale

Principali modelli quantitativi per la determinazione della ubicazione ottimale

La scelta dell'ubicazione di dettaglio

**Esame:** scritto e orale

*Testo consigliato:*

A. PARESCHI, *Impianti industriali*, Collana Progetto Leonardo, Ed. Esculapio, Bologna, 1994.

*Testi di utile consultazione:*

F. TURCO, *Principi generali di progettazione degli impianti industriali*, C.L.U.P., Milano, 1990.

S. HERAGU, *Facilities Design*, Ed. PWS, Boston, 1997

R.L. FRANCIS, J.A. WHITE, *Facility lay-out and location: an analytical approach*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.

A. BRANDOLESE, *Studio del mercato e del prodotto*, C.L.U.P., Milano, 1977.

D. DEL MAR, *Operations and industrial management*, McGraw-Hill, 1985.

A. BRANDOLESE, M. GARETTI, *Processi produttivi. Criteri tecnici di scelta e progettazione*, C.L.U.P., Milano, 1982.

R.J. TERSINE, *Production/operations management*, North Holland, New York, 1985.

A. MONTE, *Elementi di Impianti Industriali*, Ed. Cortina, Torino, 1982, 1-2.

**IMPIANTI INDUSTRIALI LB**

**BO, cds: G\_Bo**

Docente: **Alberto Regattieri** prof. ass.

**Finalità del corso**

Il corso presenta le principali tecniche e i modelli fondamentali per la determinazione del numero e della disposizione planimetrica (layout) delle macchine e attrezzature presenti in un impianto industriale.

In particolare vengono approfondite le tematiche relative allo studio del flusso dei materiali e dei rapporti fra le attività di servizio presenti in un sistema produttivo e le tecniche per il calcolo del fabbisogno di spazio. Vengono inoltre trattati alcuni metodi per la determinazione del numero

di risorse necessarie per raggiungere i livelli produttivi prestabiliti.

Infine sono oggetto del corso le tecniche manuali ed automatiche (gestite al calcolatore) per la determinazione del layout del sistema di produzione.

### Programma del corso

#### STUDIO DEL FLUSSO DEI MATERIALI E DELLE ATTIVITÀ OPERATIVE

Analisi del prodotto e delle quantità

Documenti per la descrizione del flusso dei materiali al variare delle quantità prodotte

Studio delle attività di servizio e relativi documenti

#### DETERMINAZIONE DELLO SPAZIO RICHIESTO

Metodi empirici per la determinazione dello spazio richiesto per un'attività produttiva

Il metodo dei calcoli diretti

Calcolo del numero di macchine per attività di fabbricazione in linea e per reparto

Calcolo del numero di operatori per attività di assemblaggio in linea e per reparto

Bilanciamento di celle di lavoro robotizzate

Determinazione del diagramma dei rapporti fra gli spazi

#### PROGETTAZIONE DEL LAYOUT

Fondamentali tecniche manuali per la determinazione della disposizione planimetrica

Principali pacchetti software per la progettazione del layout

Tecniche reticolari per il controllo del progetto

**Esame:** scritto e orale

*Testo consigliato:*

A. PARESCHI, *Impianti industriali*, Collana Progetto Leonardo, Ed. Esculapio, Bologna, 1994.

*Testi di utile consultazione:*

F. TURCO, *Principi generali di progettazione degli impianti industriali*, C.L.U.P., Milano, 1990.

S. HERAGU, *Facilities Design*, Ed. PWS, Boston, 1997.

R.L. FRANCIS, J.A. WHITE, *Facility lay-out and location: an analytical approach*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.

A. BRANDOLESE, *Studio del mercato e del prodotto*, C.L.U.P., Milano, 1977.

D. DEL MAR, *Operations and industrial management*, McGraw-Hill, 1985.

A. BRANDOLESE, M. GARETTI, *Processi produttivi. Criteri tecnici di scelta e progettazione*, C.L.U.P., Milano, 1982.

R.J. TERSINE, *Production/operations management*, North Holland, New York, 1985.

A. MONTE, *Elementi di Impianti Industriali*, Ed. Cortina, Torino, 1982, 1-2.

**IMPIANTI MECCANICI**

BO, cds: M

Docente: Arrigo Pareschi prof. ord.

**Finalità del Corso**

L'insegnamento si propone di fornire i criteri generali e i corrispondenti metodi matematici per la progettazione tecnica ed economica degli impianti meccanici, intesi come sistemi ausiliari strettamente inseriti nei sistemi di produzione e finalizzati a rendere disponibili i servizi necessari al corretto sviluppo dei processi produttivi. Di tali impianti elementari e ricorrenti, presenti nei sistemi di produzione sia industriali sia del terziario, vengono trattati principi teorici, schemi generali di funzionamento, adozione dei componenti, metodi di progettazione ed ottimizzazione tecnico-economica, norme e regolamenti.

**Programma del Corso**

**1. GENERALITÀ SUGLI IMPIANTI MECCANICI E LORO RUOLO NELL'IMPIANTISTICA INDUSTRIALE E NEL TERZIARIO. CLASSIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI MECCANICI.**

**2. CONSIDERAZIONI GENERALI SUI CRITERI DI OTTIMIZZAZIONE TECNICO-ECONOMICA NELLA PROGETTAZIONE DEGLI IMPIANTI MECCANICI**

Grandezze fisiche e numero di variabili del problema progettuale. Relazioni tecniche fra le grandezze in giuoco. Criteri e relazioni economiche, costo totale di produzione del bene industriale o di servizio, ammortamento delle attrezzature e degli impianti. Richiami di matematica finanziaria: il concetto di flusso di cassa e i metodi NPV, TIR, Pay-back.

Progettazione ottimizzata avente per obiettivo il minimo costo totale di produzione; esempi: numero ottimale di spillamenti in una centrale termoelettrica, diametro ottimale di una condotta per il trasporto di fluidi, spessore economico dell'isolante di una tubazione, numero delle unità di riserva.

**3. CRITERI DI PROGETTAZIONE E GESTIONE OPERATIVA DEGLI IMPIANTI MECCANICI**

Criteri di progettazione e gestione degli impianti di cogenerazione per la produzione combinata di energia elettrica e termica ad uso industriale. Impianti a vapore a controcompressione o a recupero totale: determinazione della pressione ottimale di caldaia. Impianti a vapore ad estrazione o in derivazione: schemi di funzionamento e criteri di scelta e dimensionamento dei principali parametri operativi.

Impianti per la produzione e distribuzione dell'energia termica. Criteri di progettazione e gestione degli impianti per la produzione e distribuzione del vapore ad uso tecnologico. Ottimizzazione tecnico-economica delle variabili operative (pressione di caldaia, numero di caldaie, spessore isolante, etc...). Dimensionamento della rete aperta di distribuzione del vapore compresi gli accessori di linea. Rete delle condense e problematiche del flusso bifase liquido-vapore.

Impianti di concentrazione ad effetti multipli come utilizzatori di vapore tecnologico. Dimensionamento ottimale di un impianto di concentrazione a due effetti. Generalità sugli impianti a pompa di calore. Dimensionamento ottimale di un impianto di concentrazione a termocompressione: scelta della pressione di mandata del compressore.

Impianti termici ad acqua calda: schemi di funzionamento, metodi di pressurizzazione, criteri di dimensionamento. Impianti termici ad aria calda: schemi di funzionamento e criteri di dimensionamento.

Impianti per l'approvvigionamento idrico senza o con serbatoio di accumulo. Criteri di otti-

mizzazione tecnico-economica delle reti aperte ramificate e chiuse. Scelta della capacità ottimale e della posizione del serbatoio di compenso. Schemi di funzionamento e criteri di progettazione degli impianti antincendio.

Impianti di essiccamento: classificazione dei vari tipi essiccatoi e dimensionamento di un essiccatoio a tunnel ad aria calda.

Impianti di condizionamento dell'aria: trattamenti dell'aria umida, dimensionamento dell'impianto di condizionamento estivo e invernale.

Generalità sugli impianti frigoriferi: calcolo del carico termico, isolamento e protezione delle condotte dallo stillicidio, barriera al vapore, fluidi frigoriferi. Impianti frigoriferi monostadio (ad espansione secca e con separatore) e a due stadi di compressione. Dimensionamento del condensatore ad aria e ad acqua.

Impianti per la produzione e distribuzione dell'aria compressa: schema e dimensionamento.

Impianti per il servizio combustibili: solidi, liquidi, gassosi.

Impianti per il trasporto di sospensioni solido-liquido. Applicazione agli impianti di trasporto di carbone in polvere in sospensione d'acqua: schemi d'impianto e criteri di dimensionamento.

Impianti di material handling per il trasporto di materiali solidi granulari in sospensione fluida. Impianti di trasporto pneumatico di sospensioni bifase gas-solido: impianti aspirati, compressi, misti. Schemi d'impianto e criteri di progettazione. Cenni al trasporto multifase di miscele gas-liquido di idrocarburi.

Impianti di aspirazione di polveri e vapori. Impianti di filtrazione di polveri da correnti fluide.

**Esame:** scritto e orale

*Testi consigliati*

Dispense redatte dal Docente e dai Collaboratori.

S. FABBRI, *Impianti Meccanici*, Vol. I, Ed. Patron, Bologna, 1985.

G. COLI, *Impianti per il benessere e la sicurezza negli ambienti di lavoro*, PEG, Milano, 1990.

M. GENTILINI, *Impianti Meccanici*, Pitagora Editrice, Bologna, 1991.

A. MONTE, *Elementi di Impianti industriali*, Ed. Libreria Cortina, Torino, 1997, Voll. 1-2.

O. PIERFEDERICI, *Impianti Meccanici*, Pitagora Editrice, Bologna, 1990.

A. PARESCHI, *Impianti Industriali*, Ed. Esculapio, Bologna, 1994.

## **IMPIANTI MINERARI**

**BO, cds: R**

Docente: **Sante Fabbri** prof. ass.

*Finalità dell'insegnamento*

Illustrare criticamente la scelta delle macchine e degli impianti, nelle miniere, nelle cave e nelle opere di sbancamento, in base a criteri tecnico-economici, fornendo i principali elementi di calcolo. Inoltre l'insegnamento prende in esame i servizi e la sicurezza degli impianti e delle macchine.

*Trasporto.*

Criteri generali e fattori che determinano l'organizzazione, la scelta delle macchine e degli impianti. Trasporto continuo: trasportatori a nastri, a raschietti ed in condotta. Caratteristiche costruttive, criteri di calcolo e modalità d'impiego. Trasporto discontinuo in sotterraneo: locomotori, vagoni ed altri mezzi di movimentazione. Coltivazioni a cielo aperto: macchine per l'abbattimento.

mento di materiali sciolti o poco cementati; escavatori a benna ed a tazze; pale gommate e cingolate; ruspe; scraper; ripper. Trasporto dell'abbattuto, movimentazione di terra ed organizzazione del cantiere; dumper; autocarri, ecc. Scelta della flotta ottimale dei mezzi di carico e trasporto. Estrazione: macchine d'estrazione, gabbie e skips; organizzazione delle stazioni. Criteri tecnico-economici per la scelta del trasporto ottimale.

### *Servizi.*

L'aria compressa: centrale di compressione. Calcolo del consumo d'aria e della rete di distribuzione. Energia elettrica: problemi di sicurezza. Tipi di rete e loro messa a terra. Apparecchiature antigrisuose. Cavi elettrici di miniera. Trasformatori e motori elettrici. Eduzione delle acque; difesa attiva e passiva dalle acque; I mezzi di eduazione, impianti principali e secondari. Ventilazione: impianti e ventilatori per una miniera od una galleria. Criteri tecnico-economici per la scelta dei servizi.

### *Sicurezza*

Norme per la prevenzione degli infortuni ed igiene sul lavoro nei cantieri, nello scavo di gallerie e nelle coltivazioni minerarie. Norme italiane ed europee che regolano la sicurezza delle macchine di scavo, di sollevamento e di trasporto. Organizzazione del cantiere e le figure professionali dedite alla sicurezza, sia nell'impresa, sia di controllo.

*Le esercitazioni* forniscono i principali elementi di calcolo e di dimensionamento degli impianti illustrati nell'Insegnamento.

### *Testi consigliati:*

S.C. WALKER, *Mine Winding and Transport*, Elsevier.  
AUTORI VARI, *Articoli tecnici e scientifici forniti dal Docente*.  
Dispense redatte dal docente.

*Tesi di laurea:* prevalentemente a carattere applicativo.

## **IMPIANTI NUCLEARI**

Docente: **Enrico Sobrero** prof. ass.

**BO, cds: N**

Lo scopo dell'Insegnamento è di fornire una preparazione nel settore degli impianti termonucleari di potenza sia per quanto concerne i principi di base che le diverse soluzioni affermate o in fase avanzata di sviluppo. Particolare attenzione è dedicata al confronto critico delle diverse soluzioni impiantistiche e ad aspetti fondamentali quali quelli della ubicazione, della sicurezza e del costo dell'energia.

La prima parte dell'Insegnamento è dedicata allo studio dei principali problemi termici, termoidraulici e termomeccanici dei con particolare riferimento ai reattori di tipo provato ed a quelli in fase pre-industriale. La seconda parte è rivolta allo studio dell'impianto nel suo complesso e cioè allo studio dei cicli termodinamici, alla ottimizzazione dei principali parametri, alla scelta dei principali componenti, tenendo conto sia degli aspetti di base che delle esigenze di natura economica e tecnologica. Lo studio particolareggiato, il dimensionamento e la progettazione di alcune componenti fondamentali e tipici di impianti nucleari è oggetto di una terza parte dell'in-



segnamento. La parte finale è normalmente dedicata allo studio di elementi di impiantistica generale e ad argomenti strettamente connessi agli impianti nucleari quali l'arricchimento ed il trattamento dei combustibili nucleari, lo smaltimento e/o lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi.

### Testi consigliati

(in relazione alla disponibilità in biblioteca e per consultazione)

GLASSTONE, *Principles of Nuclear Reactor Engineering*.

POULTER, *The Design of Gas-cooled Graphite Moderated Reactors*.

M.M. EL-WAKIL, *Nuclear Power Engineering*, McGraw-Hill.

M.M. EL-WAKIL, *Nuclear Energy Conversion*.

M. CUMO, *Impianti Nucleari*, UTET.

C. LOMBARDI, *Impianti Nucleari*, CLUP.

E.S. PEDERSEN, *Nuclear Power*, vol. 1 e 2, Ann Arbor Science.

G. KESSLER, *Nuclear Fission Reactors*, Springer-Verlag.

R.E. WEBB, *The Accident Hazards of Nuclear Power Plants*, MIT.

Dispense dell'Insegnamento ed aggiornamenti bibliografici sono disponibili di anno in anno.

### Esercitazioni

Vengono svolte come parte integrante dell'Insegnamento e riguardano applicazioni e sviluppi degli argomenti trattati.

*Propedeuticità consigliate*: Fisica tecnica, Scienza delle costruzioni, Fisica del reattore, Macchine.

*Tesi di Laurea*: di carattere progettuale o di ricerca applicata, su temi stabiliti di anno in anno.

## IMPIANTI SPECIALI

**BO, cds: M**

Docente: **Marco Gentilini** prof. ass.

Vengono trattati i fondamenti generali di energetica e i principi di funzionamento e gli schemi di realizzazione degli impianti non convenzionali (nucleari a fissione e a fusione), e da fonti rinnovabili (solare, idraulico, eolico, biomasse, geotermico), per la produzione di energia e i sistemi avanzati di conversione energetica (fotovoltaico, celle a combustibile magnetofluidodinamica, termoelettrica diretta, termoelettronica).

Vengono forniti i criteri generali di analisi degli investimenti e dei profitti per l'ottimizzazione dei sistemi impiantistici e i criteri di economia energetica degli impianti di produzione e conversione energetica.

Si esaminano i criteri tecnici ed economici degli interventi per il risparmio e il recupero energetico e l'impiego di rifiuti e inquinanti per la produzione di combustibili pregiati.

### Testo consigliato:

M. GENTILINI, *Elementi di Energetica*, Ed. Esculapio, Progetto Leonardo, Bologna, 1992.

*Esame*: L'esame consta di una prova orale.

**IMPIANTI SPECIALI IDRAULICI**

BO, cds: C

Docente: **Alberto Bizzarri** prof. ass.

Le opere d'invaso e derivazione per usi multipli: idropotabile, irriguo, industriale, laminazione piene. Richiami di Idrologia superficiale con particolare riguardo alle derivazioni d'acqua con e senza regolazione dei deflussi. L. opere di sbarramento; traverse fisse e mobili; paratoie, calcoli statici ed idraulici; sbarramenti murari a gravità e ad arco e sbarramenti in materiali sciolti: tipi, criteri di progetto e norme costruttive, calcoli di stabilità, opere di fondazione; manufatti di scarico, sfioro e presa.

Manufatti di derivazione da laghi e corsi d'acqua: sghiaiatori e dissabbiatori. Opere di trasporto dell'acqua: canali e gallerie; tipi, tracciato, dimensionamento, costruzione, manufatti speciali (sifoni, ponti), paratoie.

Problematiche economiche ed ambientali connessi alla realizzazione di grandi opere di derivazione d'acqua.

Impianti idroelettrici: definizioni, classificazione, ruolo nella produzione di energia elettrica. Pozzi piezometrici e vasche di carico, loro oscillazioni. Condotte forzate: tipi, dimensionamento, calcoli idraulici e statici, manufatti e pezzi speciali (valvolame, diramazioni, blocchi d'ancoraggio). Centrali idroelettriche: tipi, classificazione e caratteristiche funzionali del macchinario; scarichi sincroni, tegoli deviatore e regolatori di velocità; disposizione delle unità e opere civili. Impianti di rivalutazione dell'energia tramite pompaggio, macchine reversibili. Stabilità di regolazione: risultati di base e cenni sui problemi di interconnessione delle reti.

*Testi consigliati:*

Appunti manoscritti (class notes)

F. CONTESSINI, *Dighe e traverse, Impianti idroelettrici*, Ed. Tamburini, Milano.

G. EVANGELISTI, *Impianti idroelettrici*, Ed. Pàtron, Bologna.

F. ARREDI, *Costruzioni idrauliche*, Ed. UTET, Roma.

*Esame:* scritto e orale.

*Tesi di laurea*

Problemi idraulici, statici, economici, ambientali relativi alla realizzazione di dighe, traverse, grandi opere di trasporto d'acqua.

Studi e progetti per la realizzazione di opere di sbarramento, trasporto, impianti idroelettrici, con particolare riguardo alle opere civili ed idrauliche.

**IMPIANTI TECNICI**

BO, cds: D, C

Docente: **Alessandro Cocchi** prof. ord.

L'insegnamento si propone di approfondire i vari aspetti dell'impiantistica termomeccanica. A partire dalle nozioni di base della Fisica Tecnica e dell'Idraulica, vengono trattati i temi fondamentali relativi alla progettazione degli impianti di riscaldamento, condizionamento dell'aria, distribuzione del gas negli edifici, distribuzione dell'acqua per usi igienico sanitari ed antincendio.

**A) Impianti di riscaldamento** – Richiami di trasmissione del calore in regime stazionario e non stazionario; isolamento termico. Controllo della condensazione interstiziale e superficiale.

Diagramma di Glaser. Calcolo delle dispersioni termiche per trasmissione e ventilazione. Ponti termici. Elementi principali di un impianto di riscaldamento. Caldaie e bruciatori. Sistemi di espansione. Apparecchiature di sicurezza e di regolazione. Valvole miscelatrici. Camini. Corpi scaldanti: radiatori, convettori, pannelli radianti. Classificazione sistematica e schemi realizzativi. Centrali termiche. Legislazione: legge 10/1991, decreti e norme UNI correlate, la sicurezza dei depositi di combustibile e delle centrali termiche. Dimensionamento degli elementi impiantistici.

**B) Impianti di condizionamento dell'aria** – Condizionamento dell'aria in ambiente civile e/o industriale. Il benessere termoigrometrico: fattori soggettivi ed oggettivi che lo influenzano. Irraggiamento solare: valutazione analitica e temperatura equivalente. Inerzia termica delle pareti opache. Pareti vetrate e inerzia termica dell'edificio. Classificazione sistematica e schemi realizzativi. Dimensionamento delle canalizzazioni. La rumorosità degli impianti.

**C) Impianti idrosanitari** – Approvvigionamento d'acqua e produzione dell'acqua calda. Reti di distribuzione all'interno dei fabbricati e delle unità abitative. Sistemi di sopraelevazione. Calcolo delle portate. Coefficiente di contemporaneità. Dimensionamento delle tubazioni. Reti di scarico e di ventilazione. Materiali.

**D) Impianti di distribuzione del gas** – Normativa di sicurezza UNI-CIG. Sistemi di approvvigionamento e di accumulo gas e GPL. Schemi di distribuzione. Dimensionamento delle tubazioni. Reti di scarico e di ventilazione. Materiali.

**E) Impianti e sistemi antincendio** – Normativa di settore. Difesa passiva: protezioni di carattere realizzativo. Carico d'incendio. Difesa attiva: circuiti di distribuzione dell'acqua e/o di gas passivanti. Sistemi di rilevazione fumi. Sistemi di irroramento automatico. Mezzi d'estinzione.

#### *Testi consigliati:*

- AMERIO, SILLITI, *Impianti tecnici per l'edilizia*, SEI Ed., Torino.  
*Manuale di Progettazione Edilizia*, vol 2, *Criteri ambientali e impianti*, Hoepli Ed., Milano.  
 DALL'O', PALMIZI, *Impianti di riscaldamento*, CLUP Ed., Milano.  
 DALL'O', PALMIZI, *Impianti idrosanitari*, CLUP Ed., Milano.  
 G. ALFANO, M. FILIPPI, E. SACCHI, *Impianti di climatizzazione per l'edilizia*, Masson Ed..

#### *Modalità d'esame:*

Redazione di uno studio per la realizzazione di un impianto di riscaldamento elementare, con predisposizione dei calcoli richiesti dalla normativa vigente, al fine dell'ammissione all'accertamento orale

## **IMPIANTI TECNICI L**

**CE, cds: dud**

Docente: **Giovanni Semprini ric.**

### *A) Impianti di climatizzazione invernale*

Richiami di trasmissione del calore. Isolamento termico. Calcolo delle dispersioni termiche per trasmissione e ventilazione, ponti termici. Elementi principali di un impianto di riscaldamento. Legge 10/91 e norme UNI. Caldaie e bruciatori; centrali termiche; sistemi di cogenerazione. Teleriscaldamento. Dimensionamento dei camini. Scambiatori di calore. Elettropompe. Apparec-

chiature e sistemi di espansione e sicurezza. Valvole e dispositivi di controllo; principi di regolazione automatica. Classificazione dei sistemi impiantistici per la distribuzione del fluido termovettore. Dimensionamento delle tubazioni. Dimensionamento corpi scaldanti. Riscaldamento ad aria. Cenni su utilizzo di energie alternative.

#### B) Impianti di condizionamento dell'aria

Richiami di psicrometria; trasformazioni psicrometriche. Le condizioni di benessere termogrometrico. Il calcolo del fabbisogno termico nel caso estivo. Classificazione tipologie impiantistiche per il condizionamento. La centrale di trattamento aria e suo dimensionamento: ventilatori, batterie di scambio termico, umidificazione. La filtrazione dell'aria. Reti di distribuzione aria e loro dimensionamento. L'immissione dell'aria negli ambienti. La centrale frigorifera: macchine frigorifere, accumulo, torri di raffreddamento. Il rumore negli impianti di condizionamento.

#### C) Impianti idrosanitari

Valutazione dei fabbisogni. Reti di distribuzione e dimensionamento tubazioni. Apparecchi idrosanitari. Autoclave.

#### D) Impianto antincendio

Sistemi di distribuzione: schemi e dimensionamento. Provvedimenti antincendio nelle centrali termiche a gasolio, gas e G.P.L.

#### E) Impianti di distribuzione del gas

Normativa UNI-CIG e legge 46/90. Reti e materiali impiegati. Contemporaneità e dimensionamento tubazioni.

#### Testi consigliati

MONCADA LO GIUDICE, DE SANTOLI, *Progettazione impianti tecnici*, Ed. Masson.

ALFANO, FILIPPI, SACCHI, *Impianti di climatizzazione per l'edilizia: dal progetto al collaudo*, Ed. Masson.

PIZZETTI, *Condizionamento dell'aria e refrigerazione*, Ed. Tamburini.

DALL'Ò, PALMIZI, *Impianti idrosanitari*, Ed. CLUP.

## INFORMATICA GENERALE L

BO, cds: Q, R

Docente: **Franca Tesi Rossi** prof. ass.

L'Insegnamento si propone di fornire agli studenti:

– gli elementi di base della architettura di un sistema di calcolo;

– i principi fondamentali per l'analisi e la risoluzione di diverse classi di problemi mediante l'impiego di un calcolatore elettronico.

#### Il sistema di elaborazione

La struttura dei problemi e degli algoritmi. Deduzione dello schema a blocchi della architettura di un calcolatore elettronico numerico. Sistema di rappresentazione interna dell'informazione. Formato delle istruzioni, dei dati e capacità d'indirizzamento. Unità di memoria e gerarchia di memoria. Unità centrale di elaborazione: sezione aritmetico-logica, sezione di controllo, interruzioni e loro gestione. Dispositivi di Ingresso/Uscita. Cenni al parallelismo nei sistemi di calcolo ad alte prestazioni. Funzioni e struttura di un sistema operativo. Struttura e gestione dei files.

### *Il linguaggio dei diagrammi di flusso*

Diagrammi a blocchi e flow-charts. Istruzioni fondamentali e loro rappresentazione grafica. Ciclo: varie configurazioni in cui si presenta. Cicli annidati. Schema di chiamate a procedure annidate. Array mono e bidimensionali. Realizzazione delle flow chart relative a procedure che coinvolgono operazioni di algebra matriciale con array mono e bidimensionale. Algoritmi di ordinamento e di ricerca: ordinamento a bolla, per scelta, per fusione; ricerca sequenziale e binaria.

### *Linguaggi ad alto livello: Elementi di Fortran 77*

Linguaggio macchina e linguaggi ad alto livello. Costanti. Variabili. Variabili con indice. Espressioni: aritmetiche, logiche, character. Istruzioni di assegnazione. Controllo del flusso di un programma; controllo delle decisioni: istruzione IF, IF aritmetico, IF logico, istruzione GO TO; controllo delle iterazioni: istruzioni DO. Istruzioni di dichiarazione e di definizione. Istruzioni di READ e di WRITE. Istruzione FORMAT. Le subroutines.

### *Elementi di calcolo numerico*

Richiami di algebra delle matrici. Soluzione approssimata delle equazioni algebriche: metodo del dimezzamento e metodo delle corde. Metodi numerici per il calcolo d'integrali definiti: metodo di Simpson. Approssimazione: Principio dei minimi quadrati. Tecnica del best-fit. Regressione lineare. Approssimazione delle funzioni reali. Estensione dei minimi quadrati al caso continuo. Equazioni differenziali ordinarie. Metodi numerici di soluzione: Eulero, Eulero-modificato, Runge-Kutta. Propagazione degli errori nei metodi iterativi. Equazioni differenziali alle derivate parziali. Richiami sui metodi analitici di soluzione; Metodi numerici: metodo delle differenze finite, metodo delle varietà caratteristiche.

L'insegnamento viene integrato con *esercitazioni* in aula ed ai personal-computers.

L'*esame* consta di una prova scritta eseguita su personal computers e di una prova orale che verte essenzialmente sul calcolo numerico e sull'architettura del sistema di elaborazione.

## **INFORMATICA GRAFICA**

**BO, cds: D (L-Z)**

Docente: **Stefano Bergamini** prof. inc.

### **Programma**

Architettura dei sistemi di elaborazione.

Struttura generale di un calcolatore elettronico. La macchina di Von Neumann. Calcolatori e applicazioni. Reti di calcolatori. Internet e World Wide Web.

Software di base per sistemi di elaborazione.

Il sistema operativo. Strumenti per la programmazione: editor, debugger, compilatori e interpreti.

Fasi di sviluppo di un programma.

Elementi di programmazione.

Metodi per l'analisi di un problema. Introduzione agli algoritmi. Metodologie di programmazione strutturata e modulare. Algebra di Boole.

Linguaggi di Programmazione.

I linguaggi di programmazione e cenni alla loro evoluzione. Sintassi e semantica dei programmi.

Il linguaggio Java.

Il linguaggio di programmazione Java. Struttura delle applicazioni Java. Alfabeto e sintassi Java.

Oggetti e classi. Uso di oggetti. Variabili e assegnazione. Costanti. Tipi. Espressioni e operatori. Creazione di oggetti e costruttori. Convenzioni di codifica. Istruzioni di ingresso/uscita. Istruzioni composte, condizionali e ripetitive. Regole di visibilità e tempo di vita. Progetto e definizione di metodi. Overloading. Stringhe. Array. Definizione di classi. Incapsulamento. Algoritmi di ricerca su vettori. Correttezza. Applet. Interfacce grafiche.

Programmi applicativi e servizi di utilità.

Esempi di programmi applicativi: uso di CAD. Strumenti software per la progettazione architettonica. Creazione e impostazione dei file di disegno. Classificazione logica dei comandi. Impostazione dell'area di lavoro. Organizzazione del disegno con i layer. Inserimento di file esterni e raster. Completamento con testi e quotatura. Stampa dei file. Esportazione e trasmissione dei dati. Cenni di modellazione 3D.

### Testi di riferimento

Dispense del corso fornite dalla docente.

S. CERI, D. MANDRIOLI, L. SBATELLA. *Informatica – arte e mestiere*. McGraw-Hill, 1994.

CAY S. HORSTMANN. *Concetti di Informatica e Fondamenti di Java 2*. Apogeo, 2000.

### Modalità di esame

Prova scritta. Progetto CAD. Prova pratica. Eventuale prova orale integrativa.

## INFORMATICA GRAFICA

Docente: Franca Tesi prof. ass.

BO, cds: D (A-K)

### Programma

Architettura dei sistemi di elaborazione.

Struttura generale di un calcolatore elettronico. La macchina di Von Neumann. Calcolatori e applicazioni. Reti di calcolatori. Internet e World Wide Web.

Software di base per sistemi di elaborazione.

Il sistema operativo. Strumenti per la programmazione: editor, debugger, compilatori e interpreti. Fasi di sviluppo di un programma.

Elementi di programmazione.

Metodi per l'analisi di un problema. Introduzione agli algoritmi. Metodologie di programmazione strutturata e modulare. Algebra di Boole.

Linguaggi di Programmazione.

I linguaggi di programmazione e cenni alla loro evoluzione. Sintassi e semantica dei programmi.

Il linguaggio Java.

Il linguaggio di programmazione Java. Struttura delle applicazioni Java. Alfabeto e sintassi Java. Oggetti e classi. Uso di oggetti. Variabili e assegnazione. Costanti. Tipi. Espressioni e operatori. Creazione di oggetti e costruttori. Convenzioni di codifica. Istruzioni di ingresso/uscita. Istruzioni composte, condizionali e ripetitive. Regole di visibilità e tempo di vita. Progetto e definizione

di metodi. Overloading. Stringhe. Array. Definizione di classi. Incapsulamento. Algoritmi di ricerca su vettori. Correttezza. Applet. Interfacce grafiche.

Programmi applicativi e servizi di utilità.

Esempi di programmi applicativi: uso di CAD. Strumenti software per la progettazione architettonica. Creazione e impostazione dei file di disegno. Classificazione logica dei comandi. Impostazione dell'area di lavoro. Organizzazione del disegno con i layer. Inserimento di file esterni e raster. Completamento con testi e quotatura. Stampa dei file. Esportazione e trasmissione dei dati. Cenni di modellazione 3D.

#### Testi di riferimento

Dispense del corso fornite dalla docente.

S. CERI, D. MANDRIOLI, L. SBATELLA. *Informatica - arte e mestiere*. McGraw-Hill, 1994.

CAY S. HORSTMANN. *Concetti di Informatica e Fondamenti di Java 2*. Apogeo, 2000.

#### Modalità di esame

Prova scritta. Progetto CAD. Prova pratica. Eventuale prova orale integrativa.

### INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE

BO, cds: Q

Docente: Alceo Gatta prof. ass.

Nel corso vengono trattati i temi dell'ingegneria chimica ambientale, con particolare attenzione alle tecnologie di prevenzione dell'inquinamento ambientale.

#### 1. Considerazioni introduttive.

Il processo d'inquinamento ambientale e le linee d'intervento per la prevenzione, con riferimento in particolare alla politica di salvaguardia ambientale messa in atto dall'Unione Europea.

#### 2. Inquinamento atmosferico.

Tipi e caratteristiche, cause, sorgenti, effetti degli inquinanti atmosferici.

La normativa italiana per il controllo dell'inquinamento atmosferico.

2.1. Meteorologia e inquinamento atmosferico.

2.2. Gli interventi tecnologici per il controllo dell'inquinamento atmosferico.

2.2.1. Materiale particolato. Tipi, caratteristiche e tecnologie di controllo delle emissioni di materiale particolato.

2.2.2. Inquinanti gassosi: sorgenti, tipi e caratteristiche.

Le tecnologie di controllo delle emissioni di inquinanti gassosi, con speciale riferimento alle tecnologie di depurazione delle emissioni gassose dei processi industriali di rilevante impatto ambientale.

#### 3. Inquinamento idrico.

Misura della qualità dell'acqua; sorgenti di inquinamento delle acque; caratteristiche delle acque reflue civili e industriali e il processo d'inquinamento idrico.

La normativa italiana per il controllo dell'inquinamento idrico.

3.1.1. Processi di trattamento delle acque reflue: processi di pretrattamento e trattamento primario; processi di trattamento secondario; processi di trattamento terziario.

Trattamento e smaltimento dei fanghi prodotti nei processi di trattamento delle acque reflue.  
3.2. Gli impianti di depurazione delle acque reflue civili e industriali.

#### 4. Inquinamento del suolo.

Produzione, sorgenti, tipi e caratteristiche dei rifiuti solidi. I sistemi di gestione dei rifiuti solidi e gli interventi di trattamento e smaltimento.

La normativa italiana per la gestione dei rifiuti solidi.

4.1. Tecnologie di trattamento e smaltimento dei rifiuti solidi.

4.1.1. Trattamento e smaltimento dei rifiuti solidi urbani (RSU): deposizione in discarica controllata; incenerimento.

4.1.2. Sistemi di smaltimento dei rifiuti solidi basati su operazioni e processi di separazione, trasformazione, riciclo.

4.4. Gestione e bonifica di terreni inquinati.

Riferimenti bibliografici e materiale specifico inerente ai temi trattati nel corso vengono forniti durante lo svolgimento delle lezioni e delle esercitazioni.

*Esame:* è costituito da una prova scritta.

### INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE

BO, cds: R

Docente: **Gabriele Pasquali** prof. ass

1. Considerazioni introduttive: il processo di inquinamento ambientale.
  - 1.1. La valutazione d'impatto ambientale nel quadro della normativa C.E.E.
  - 1.2. I criteri di base per le linee d'intervento per la salvaguardia ambientale.
  - 1.3. La procedura di progetto di un impianto di trattamento.
  - 1.4. La valutazione dei costi degli impianti.
2. Inquinamento atmosferico. Cenni sulla normativa italiana contro l'inquinamento atmosferico. I principali inquinanti atmosferici: cause, sorgenti, effetti.
  - 2.1 Materiale particolato. Gli interventi tecnologici per il controllo delle emissioni di materiale particolato.
  - 2.2 Inquinanti gassosi. Gli interventi tecnologici per il controllo delle emissioni d'inquinanti gassosi con speciale riferimento alle tecnologie di depurazione delle emissioni gassose dei processi industriali di rilevante impatto ambientale.
3. Inquinamento del suolo. Il problema dei rifiuti solidi. Cenni sulla normativa italiana relativa alla gestione dei rifiuti solidi.
  - 3.1 Le tecnologie di trattamento e lo smaltimento dei rifiuti solidi.
  - 3.2 Gli impianti di trattamento e smaltimento dei rifiuti solidi urbani: la discarica controllata, l'incenerimento, gli impianti di recupero.
  - 3.3 Gestione e bonifica di terreni inquinati.
4. Inquinamento idrico. Le caratteristiche delle acque di rifiuto civili ed industriali.
  - 4.1 Processi di trattamento delle acque di rifiuto industriali.



**INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE II****BO, cds: duamb**Docente: **Alceo Gatta** prof. ass.

Nel Corso vengono trattati temi riguardanti gli interventi per la prevenzione ed il controllo dell'inquinamento atmosferico e dell'inquinamento idrico.

1. **Considerazioni introduttive.**  
Le linee d'intervento per la prevenzione ed il controllo, con riferimento in particolare alla politica di salvaguardia ambientale messa in atto dall'Unione Europea.
2. **Inquinamento atmosferico.**  
Gli inquinanti atmosferici: tipi e caratteristiche; sorgenti; cause; effetti sull'ambiente.  
La normativa italiana per il controllo dell'inquinamento atmosferico.
- 2.1. **Gli interventi tecnologici per la prevenzione ed il controllo dell'inquinamento atmosferico.**
- 2.1.1. **Materiale particolato: tipi; caratteristiche; sorgenti.**  
Le tecnologie di controllo delle emissioni di materiale particolato.
- 2.1.2. **Inquinanti gassosi: tipi; caratteristiche; sorgenti.**  
Le tecnologie di controllo delle emissioni di inquinanti gassosi.
3. **Inquinamento idrico.**  
Le caratteristiche delle acque reflue civili e industriali ed il processo d'inquinamento idrico.  
La normativa italiana per il controllo dell'inquinamento idrico.
- 3.1. **Operazioni e processi di trattamento delle acque reflue: pretrattamento; trattamento primario; trattamento secondario; trattamenti terziario e avanzati.**
- 3.2. **Trattamento e smaltimento dei fanghi prodotti nelle operazioni e nei processi di trattamento delle acque reflue.**
- 3.3. **Gli impianti di depurazione delle acque reflue civili e industriali.**

Riferimenti bibliografici e materiale specifico inerente ai temi trattati vengono forniti durante lo svolgimento delle lezioni e delle esercitazioni.

Esame: è costituito da una prova scritta.

**INGEGNERIA CLINICA L****CE, cds: clb**Docente: **Claudio Lamberti** prof. ass.

L'insegnamento tratta problemi connessi con l'organizzazione e la gestione di una struttura sanitaria, in particolare per ciò che concerne le tecnologie biomediche.

Vengono illustrate le metodologie ed i supporti tecnologici oggi disponibili per una loro gestione corretta e sicura.

**Programma****1. Tecnologie Biomediche.**

Definizioni e classificazione. Dati orientativi sulla consistenza del parco tecnologico. Introduzione ai principi di funzionamento di alcuni sistemi diagnostici.

**2. Ingegneria Clinica**

L'ingegnere clinico ed il tecnico biomedico: attività e competenze. La gestione delle tecno-

logie nei presidi sanitari. L'acquisizione e la manutenzione delle apparecchiature. Criteri per il dimensionamento di un Servizio di Ingegneria Clinica.

### 3. Le Norme ed il Technology Assessment

Le normative per assicurare un uso corretto e sicuro delle tecnologie biomediche. La certificazione di qualità. Il processo di Valutazione delle Tecnologie Biomediche.

### 4. Sistemi Informativi Sanitari

Caratteristiche generali dei principali componenti di un Sistema Informativo Sanitario. Modello centralizzato e modello distribuito. Cartella clinica tradizionale e problemi relativi alla sua informatizzazione. Indicatori sanitari. Raggruppamenti Omogenei di Diagnosi (DRG/ROD) e loro utilizzo.

### 5. Telemedicina.

Telemedicina: alcuni esempi significativi di utilizzo delle tecnologie dell'informazione in ambito sanitario. Picture Archiving and Communication System (PACS).

**Visite guidate presso alcune strutture sanitarie.**

**Seminari tenuti da esperti esterni.**

*Testi consigliati:*

C. LAMBERTI, W. RAINER, *Le Apparecchiature Biomediche e la loro Gestione*. Collana di Ingegneria Biomedica. Patron Editore, Bologna, 1998.

*Management of Medical Technology. A Primer for Clinical Engineers*. Edited by J.D. Bronzino. Butterworth-Heinemann, 1992.

Vengono forniti inoltre appunti preparati dal docente contenenti anche le indicazioni bibliografiche per l'approfondimento di temi specifici.

## INGEGNERIA CLINICA LA

BO, cds: L

Docente: **Claudio Lamberti** prof. ass.

L'insegnamento tratta problemi connessi con l'organizzazione e la gestione di una struttura sanitaria, in particolare per ciò che concerne le tecnologie biomediche.

Vengono illustrate le metodologie ed i supporti tecnologici oggi disponibili per una loro gestione corretta e sicura.

### Programma

#### 1. Tecnologie Biomediche.

Definizioni e classificazione. Dati orientativi sulla consistenza del parco tecnologico. Introduzione ai principi di funzionamento di alcuni sistemi diagnostici.

#### 2. Ingegneria Clinica

L'ingegnere clinico ed il tecnico biomedico: attività e competenze. La gestione delle tecnologie nei presidi sanitari. L'acquisizione e la manutenzione delle apparecchiature. Criteri per il dimensionamento di un Servizio di Ingegneria Clinica.

### 3. Le Norme ed il Technology Assessment

Le normative per assicurare un uso corretto e sicuro delle tecnologie biomediche. La certificazione di qualità. Il processo di Valutazione delle Tecnologie Biomediche.

### 4. Sistemi Informativi Sanitari

Caratteristiche generali dei principali componenti di un Sistema Informativo Sanitario. Modello centralizzato e modello distribuito. Cartella clinica tradizionale e problemi relativi alla sua informatizzazione. Indicatori sanitari. Raggruppamenti Omogenei di Diagnosi (DRG/ROD) e loro utilizzo.

### 5. Telemedicina.

Telemedicina: alcuni esempi significativi di utilizzo delle tecnologie dell'informazione in ambito sanitario. Picture Archiving and Communication System (PACS).

**Visite guidate presso alcune strutture sanitarie.**

**Seminari tenuti da esperti esterni.**

*Testi consigliati:*

C. LAMBERTI, W. RAINER, *Le Apparecchiature Biomediche e la loro Gestione*. Collana di Ingegneria Biomedica. Patron Editore, Bologna, 1998.

*Management of Medical Technology. A Primer for Clinical Engineers*. Edited by J.D. Bronzino. Butterworth-Heinemann, 1992.

Vengono forniti inoltre appunti preparati dal docente contenenti anche le indicazioni bibliografiche per l'approfondimento di temi specifici.

## INGEGNERIA DEGLI ACQUIFERI

Docente: **Guido Gottardi** prof. straord.

**BO, cds: duamb**

Il ciclo dell'acqua. Classificazione degli acquiferi. Proprietà dei suoli (porosità, permeabilità assoluta, curve di permeabilità relativa e di pressione capillare). Legge del moto dell'acqua nel sottosuolo. Equazione della diffusione per acquiferi confinati e non confinati. Teoria del consolidamento di Terzaghi. Integrazione dell'equazione della diffusività in condizioni di transitorio e stazionarie. Prove sui pozzi e di falda. Misure in situ sugli acquiferi. Utilizzazione e protezione delle risorse idriche sotterranee. L'inquinamento delle acque sotterranee e gli interventi di protezione e di risanamento. Flusso multifase di fluidi non miscibili (acqua-aria, acqua-olio). Equazione della diffusione in sistemi parzialmente saturi. Flusso di fluidi miscibili non reagenti tra loro: la dispersione, il decadimento biologico e la ritenzione del soluto da parte del suolo. Equazione del trasporto del soluto. Equazione del trasporto del calore in un mezzo poroso. Tecnica delle differenze finite (DF) e degli elementi finiti (EF) per l'integrazione di equazioni differenziali alle derivate parziali. Applicazione della tecnica alle DF ed EF per l'integrazione dell'equazione della diffusività e del trasporto per geometrie monodimensionali, bidimensionali e tridimensionali. Criteri di valutazione per la scelta di un simulatore numerico. Metodi diretti ed iterativi per la risoluzione di sistemi di equazioni algebriche di grandi dimensioni.

*Testi consigliati*

Appunti e dispense del docente.

G. DE MARSILY Quantitative Hydrology – *Groundwater Hydrology for Engineers*.

P.S. HUYAKORN and G.F. PINDER, *Computational Methods in Subsurface Flow*.

W. KINZELBACH Groundwater modelling – *An Introduction with sample Programs in BASIC*.

J.J. CONNOR and C.A. BREBBIA, *Finite Elements for Fluid Flow*.

D.U VON ROSENBERG, *Methods for the Numerical Solution of Partial Differential Equations*.

**INGEGNERIA DEGLI SCAVI**

BO, cds: R

Docente: **Sante Fabbri** prof. ass.

Finalità e campi di interesse dell'ingegneria degli scavi. Metodi di scavo in relazione alla geologia, al tipo di terreno e di roccia. Scavo meccanico in terra ed in roccia; scavo in roccia con esplosivo. Scavi sopra la falda e sotto falda. Scavi in aree urbane ed in aree non antropizzate.

Fattori geologici e geologico tecnici rilevanti ai fini di uno scavo in roccia ed in terreni sciolti. Norme tecniche riguardanti le indagini. Finalità delle indagini: preliminari alla scelta del metodo di scavo; alla scelta della tecnica di scavo, per la previsione delle condizioni di stabilità e per il progetto dei consolidamenti. Indagini in corso d'opera per il controllo della stabilità, per il controllo dell'efficacia della tecnica e del metodo di scavo, per il controllo delle opere di consolidamento. Indagini per la caratterizzazione completa del sito; sondaggi geognostici; indagini geofisiche; cunicoli esplorativi; affidabilità della ricostruzione geologica.

Metodi di calcolo delle strutture in gallerie. Caratteristiche dei terreni e delle rocce; sistemi di classificazione; caratterizzazione meccanica dei terreni e delle rocce ai fini dello scavo. Verifica delle strutture di rivestimento e di consolidamento dello scavo.

Tecniche di scavo. Sezione e sviluppo planimetrico. Fasi di scavo. Abbattimento. Caricamento e trasporto del frantumato.

Abbattimento con esplosivi. Perforazione. Volate in sotterraneo ed a cielo aperto. Il problema dei sovrascavi. Spari controllati.

Abbattimento meccanico con demolitori idraulici. Scavo con metodologia N.A.T.M. Scavo con le frese scudate. Scavo con le frese puntuali. Scavo con T.B.M. Abbattimento idraulico.

Il cantiere per la realizzazione di scavi. Le forme di energia. Impianto per la produzione di aria compressa. L'energia elettrica. I motori a combustione interna. I circuiti oleodinamici delle macchine impiegate nell'ingegneria degli scavi.

Problemi di salubrità e sicurezza. Gas di esplosione, di motori a combustione interna e gas di strutture geologiche. Polveri. Vibrazioni. Sovrappressioni in aria (rumore). Microclima. Temperatura. Umidità. Velocità dell'aria. Indici microclimatici. Lancio di materiali lapidei.

Schemi di ventilazione ed impianti di ventilazione.

*Le esercitazioni* forniscono i principali elementi di calcolo e di dimensionamento degli scavi per opere civili.

*Testi consigliati:*

M. BRINGIOTTI, *Guida al tunneling. L'arte e la tecnica*, ed. PEI, Parma.

AUTORI VARI, Articoli tecnici e scientifici forniti dal docente.

Dispense redatte dal docente.

**INGEGNERIA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI****BO, cds: R**Docente: **Guido Gottardi** prof. straord.

Scopo dell'Insegnamento è di fornire le conoscenze di base per lo studio dei giacimenti di petrolio e di gas naturale, per la progettazione del loro sviluppo e per la loro coltivazione razionale. A complemento degli argomenti trattati si suggerisce allo studente di seguire l'insegnamento di Produzione e trasporto degli idrocarburi.

*Programma*

- Nozioni elementari sulla geologia dei giacimenti di idrocarburi, sulla naftogenesi e migrazione degli idrocarburi, sulla pressione e temperatura di giacimento.
- Comportamento di fase e volumetrico degli oli, dei gas a condensato e dei gas secchi. Metodo di calcolo dei loro parametri termodinamici.
- Le rocce-serbatoio: loro caratteristiche petrofisiche e di trasporto. Porosità, comprimibilità, saturazione in fluidi, capillarità, permeabilità assoluta e relativa.
- Definizione delle riserve di olio e di gas e loro calcolo con il metodo volumetrico. Valutazione probabilistica delle riserve con il metodo Monte Carlo.
- Il flusso radiale dei mezzi porosi: caso dei fluidi a permeabilità bassa e costante. Equazione di diffusività in variabili adimensionali: sua soluzione con la trasformata di Boltzmann. I regimi di flusso stazionario, transitorio e pseudostazionario.
- L'interpretazione delle prove di produzione nei pozzi ad olio: il problema della nonunicità. Calcolo delle curve  $pD(tD)$  geometrie non circolari. Interpretazione delle curve di declino e di risalita della pressione. Prove di interferenza con portate pulsate e con traccianti allo scopo di valutare le caratteristiche della roccia-serbatoio nelle zone inter-pozzo.
- L'interpretazione delle prove di produzione nei pozzi a gas. Linearizzazione dell'equazione di diffusività per flusso radiale e sua soluzione per gas reali in condizioni di portata costante. Prove a portata variabile nei pozzi a gas. Isochronal tests. Interpretazione delle risalite di pressione nei pozzi a gas.
- L'ingresso d'acqua nei giacimenti: equazioni empiriche di Schiltuis e di Hurst. Soluzione di van Everdingen-Hurst per flusso in regime transitorio e soluzione approssimata di Fetkovich per acquiferi di estensione limitata.
- L'analisi del comportamento passato dei giacimenti: equazione di bilancio volumetrico. Il caso dei giacimenti di gas secco ed a condensato, oppure in contatto con un acquifero. L'equazione di bilancio volumetrico per i giacimenti di olio: calcolo degli indici di spinta e previsione del fattore di recupero dell'olio.
- Lo spiazzamento immiscibile monodimensionale in mezzi porosi omogenei equazioni di flusso frazionario, di Buckley-Leverett e di Welge. Il metodo delle caratteristiche nella trattazione dello spiazzamento. L'influenza della velocità di spiazzamento e di viscosità. Spiazzamento immiscibile in sistemi bidimensionali: nozioni di e di stabilizzazione gravitativa del fronte.
- Il recupero migliorato del petrolio mediante iniezione d'acqua: distribuzioni tipiche dei pozzi d'iniezione e di produzione. Nozioni di efficienza microscopica e di efficienza volumetrica di spiazzamento. Calcolo dell'efficienza volumetrica nel caso di giacimenti stratificati, con strati isolati verticalmente oppure in comunicazione fra loro. Il fenomeno del cono d'acqua: calcolo della portata critica per coning, del tempo di arrivo dell'acqua in pozzo e dell'evoluzione del water cut nel caso di produzione con portata superiore alla critica. Equazioni modello oli pesante "black oil", olio volatile, ed a multicomponenti.

*Testi consigliati:*

Dispense approvate dal docente.

GIAN LUIGI CHIERICI, *Principi di ingegneria dei giacimenti petroliferi*, vol. 1-2, Agip 1991  
 L.P. DAKE, *Fundamental of reservoir engineering*, Elsevier, New-York, 1978.

*Esame orale*, con richiami alle applicazioni pratiche svolte nelle esercitazioni.

*Propedeuticità consigliata*: nessuna

*Tesi di laurea*: 1) Temi compilativi e di ricerca; 2) Progetti di sviluppo di giacimenti di idrocarburi con simulatori numerici.

## INGEGNERIA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI

**BO, cds: duamb**

Docente: **Paolo Macini** prof. ass.

Scopo dell'insegnamento è di fornire le conoscenze di base per lo studio ingegneristico dei giacimenti di idrocarburi, per la progettazione del loro sviluppo e per la loro coltivazione razionale.

### *Programma*

Nozioni elementari sulla geologia dei giacimenti di idrocarburi, sulla naftogenesi e migrazione degli idrocarburi, sulla pressione e temperatura di giacimento. Meccanismi di drenaggio. Classificazione dei giacimenti. Comportamento di fase e volumetrico dei greggi, dei gas a condensato e dei gas secchi. Metodo di calcolo dei parametri termodinamici. Cenni sulla cella PVT. Rocce serbatoio: caratteristiche petrofisiche e di trasporto. Porosità, comprimibilità, saturazione in fluidi, bagnabilità, capillarità, permeabilità assoluta e relativa. Risorse e riserve. Definizione delle riserve e loro calcolo con il metodo volumetrico. Metodo dinamico. Bilancio di massa. Flusso radiale dei fluidi nei mezzi porosi: il moto negli acquiferi. Equazione della diffusività in variabili adimensionali. Valutazione dell'ingresso d'acqua nei giacimenti secondo Schilthuis e Hurst. Soluzione di van Everdingen e Hurst per flusso in regime transitorio e soluzione approssimata di Fetkovich per acquiferi di estensione limitata. Iniezione di fluidi in giacimento. Giacimenti di olio sottosaturo. Comprimibilità delle fasi. Contrazione dei pori. Giacimenti di olio saturo a volume costante, con ingresso d'acqua, con cappa di gas. Cono di gas e cono d'acqua. Evoluzione nel tempo del regime di flusso. Interpretazione delle prove di produzione nei pozzi ad olio. Lo spiazzamento degli idrocarburi. Rapporto di mobilità. Stabilità delle interfacce. Fattori di efficienza dello spiazzamento. Disposizione dei pozzi. Lo spiazzamento immiscibile monodimensionale in mezzi porosi omogenei equazioni di flusso frazionario, di Buckley-Leverett e di Welge. Influenza della velocità di spiazzamento e di viscosità. Spiazzamento immiscibile in sistemi bidimensionali: nozioni di e di stabilizzazione gravitativa del fronte. Il Recupero migliorato dei greggi mediante iniezione d'acqua: distribuzioni tipiche dei pozzi di iniezione e di produzione. Nozioni di efficienza microscopica e di efficienza volumetrica di spiazzamento.

### *Testi consigliati:*

CHIERICI G.L., *Principi di ingegneria dei giacimenti petroliferi*, Milano, 1989.

DAKE, L.P., *Fundamentals of Reservoir Engineering*, Amsterdam, 1978.

CRAFT, B.C., HAWKINS, M.F., *Petroleum Reservoir Engineering*, Englewood Cliffs, 1959.

**INGEGNERIA DEI SISTEMI DI CONTROLLO****FO, cds: cla**Docente: **Leonardo Daga** prof. inc.

- **Introduzione**
  - Obiettivo del corso.
  - Esercitazioni ed attività di laboratorio.
  - Descrizione del progetto da realizzare come prova di esame
- **La costruzione di un progetto avionico:**
  - I passi da compiere.
  - La documentazione.
- **Databus Avionici:**
  - Notizie generali sui bus di comunicazione
  - Bus1553;
    - HW, Protocollo e Messaggi
  - ARINC 429;
    - HW e protocollo
- **Architetture Hardware;**
  - Esempi di architetture HW per le avioniche di modelli militari e civili
  - Architetture centralizzate, federate e distribuite
  - IMA - Integrated Modular Avionics
- **Architetture Software:**
  - Stili architeturali (basati su eventi, layered systems, OOD)
- **Metodi di progetto Software**
  - Level Oriented
  - Data Flow Oriented Design
  - Data Structure Oriented Design
  - Object Oriented Design
- **Sistemi operativi Real Time;**
  - Introduzione ai Sistemi operativi;
  - Concetti fondamentali dei RTOS;
  - Algoritmi di task scheduling.
  - Architettura SW di sistemi operativi in real-time: RTLinux, WinNT Embedded, QNX.
- **Software Fault tolerance**

**INGEGNERIA DEL SOFTWARE (C.I.)****BO, cds: I**Docenti: **Antonio Natali** prof. ord.  
**Eugenio Faldella** prof. ord.**Obiettivi del corso**

Il corso si pone due obiettivi principali:

1. introdurre concetti, metodologie e tecniche per l'analisi, il progetto, l'implementazione e il testing di sistemi software, con specifico riferimento ai sistemi ad oggetti, alla costruzione di modelli e al rapporto con le diverse piattaforme tecnologiche oggi disponibili per la costruzione e del software
2. Approfondire concetti, metodologie, tecniche e strumenti per l'analisi e progettazione del software con vincoli di funzionamento in tempo reale.

Per conseguire questi obiettivi il corso viene suddiviso in due parti. Nella prima parte, di circa 45 ore, il corso intende:

- *Approfondire le principali tecniche per la costruzione di sistemi software ad oggetti, utilizzando come caso di studio i sistemi basati su Web e le relative tecnologie di costruzione (quali HTML, Java, XML, XSLT, JSP, JavaScript, etc)*
- *Approfondire il ruolo dei modelli per impostare l'analisi e progettazione dei sistemi in modo il più possibile indipendente dalle tecnologie realizzative*
- *Presentare i concetti fondamentali del linguaggio UML e introdurre tecniche per la descrizione di sistemi in UML*
- *Introdurre il concetto di design pattern, studiandone il ruolo con particolare riferimento ai pattern architetturali*
- *Fornire conoscenze tecniche e metodologiche per il progetto e la realizzazione di componenti software e di sistemi basati su componenti*

La seconda parte, di circa 40 ore, sarà dedicata allo studio dei sistemi in tempo reale. In particolare il corso intende:

- *Introdurre i concetti fondamentali dei sistemi in tempo reale*
- *Presentare tecniche per l'analisi, il progetto, la realizzazione e la verifica di sistemi caratterizzati da vincoli di funzionamento in tempo reale.*
- *Presentare le linee guida per la strutturazione di applicazioni in termini di processi cooperanti, con particolare riferimento al contesto dell'automazione e del controllo di processi industriali.*
- *Approfondire le problematiche relative alla comunicazione ed alla sincronizzazione di processi cooperanti.*
- *Presentare gli algoritmi di scheduling, sia statici che dinamici, ed i protocolli di accesso a risorse condivise tipicamente applicati nell'ambito dei sistemi operanti in tempo reale.*

### **Prerequisiti**

Occorre conoscere l'organizzazione dei sistemi di elaborazione, i concetti fondamentali della programmazione ad oggetti e l'uso degli ambienti di sviluppo del software. È fortemente consigliata, benché non strettamente indispensabile, la conoscenza del linguaggio Java.

### **Organizzazione del corso**

Il corso prevede una stretta interazione tra la parte teorica e la parte pratica di laboratorio, che viene impostata simulando, per quanto possibile, un ambiente di produzione industriale. Le esercitazioni mirano ad affrontare in modo concreto le caratteristiche di processi di sviluppo di tipo evolutivo e incrementale.

### **Contenuti - parte prima**

- *La differenza tra gli algoritmi e i sistemi (ad oggetti). La costruzione di sistemi software ad oggetti in Java (e cenni al C++)*
- *Il ruolo delle architetture e dei framework nella costruzione e nel progetto di sistemi software*
- *I sistemi Web come framework per la costruzione di applicazioni. Estensioni lato cliente lato server mediante Applet e servlet Java.*
- *Il ruolo e le caratteristiche dei linguaggi di scripting. Introduzione a JavaScript*
- *Introduzione ai XML e XSLT*
- *Dai costrutti linguistici ai modelli: lo spazio concettuale della tecnologia ad oggetti*
- *I concetti e i simboli fondamentali di UML e metodologie per l'uso di UML.*
- *Il processo di sviluppo: dal modello a cascata al modello incrementale*
- *La costruzione del software come sequenza di modelli*
- *Introduzione a Rational Rose come ambiente di supporto a processi di sviluppo incrementali*



basati su modelli

- *Verso sistemi software a componenti: il caso di EJB e CORBA.*

#### **Contenuti - seconda parte**

- *Generalità, terminologia e nozioni introduttive sui sistemi in tempo reale.*
- *Evoluzione dei processori, dei sistemi operativi, delle architetture e delle reti di comunicazione caratterizzanti i sistemi con vincoli di funzionamento in tempo reale.*
- *Linee guida per la strutturazione di applicazioni in termini di processi cooperanti. Modelli e strumenti per la comunicazione e la sincronizzazione tra processi.*
- *Algoritmi di scheduling per la gestione di processi sia periodici che sporadici e aperiodici. Protocolli di accesso a risorse condivise. Test di schedulabilità.*
- *Esemplificazione degli aspetti di carattere teorico e metodologico con riferimento a pattern tipici del contesto applicativo dell'automazione e del controllo di processi industriali.*

#### **Materiale didattico**

Vengono fornite dispense a cura del docente, sia in forma elettronica sia in forma cartacea. Possibili titoli di testi e manuali di consultazione saranno esposti sul sito web dei docenti ([www.natali.deis.unibo.it](http://www.natali.deis.unibo.it) e [www.faldella.deis.unibo.it](http://www.faldella.deis.unibo.it))

#### **INGEGNERIA DEL SOFTWARE LA**

**CE, cds: dui**

Docente: Antonio Natali prof. ord.

#### **Obiettivi del corso**

L'obiettivo principale del corso è introdurre concetti, metodologie e tecniche per l'analisi, il progetto, l'implementazione e il testing di sistemi software, con specifico riferimento a sistemi ad oggetti. Più specificatamente il corso intende:

- *Approfondire le principali tecniche per la costruzione di sistemi software ad oggetti*
- *Introdurre il concetto di design pattern con particolare riferimento ad alcuni fondamentali pattern architetturali*
- *Approfondire il ruolo dei modelli nell'analisi/progettazione dei sistemi e nella comunicazione interpersonale e presentare i concetti fondamentali del linguaggio UML*
- *Introdurre un case-study che mostri in modo concreto le caratteristiche di processi di sviluppo di tipo evolutivo e incrementale*
- *Fornire conoscenze tecniche e metodologiche per il progetto e la realizzazione di componenti software e di sistemi basati su componenti*

#### **Prerequisiti**

Occorre conoscere l'organizzazione dei sistemi di elaborazione, i concetti fondamentali della programmazione ad oggetti e l'uso degli ambienti di sviluppo del software. È fortemente consigliata, benché non strettamente indispensabile, la conoscenza del linguaggio Java.

#### **Organizzazione del corso**

Il corso prevede una stretta interazione tra la parte teorica e la parte pratica di laboratorio, che viene impostata simulando, per quanto possibile, un ambiente di produzione industriale.

### Contenuti

- La differenza tra gli algoritmi e i sistemi (ad oggetti). La costruzione di sistemi software ad oggetti
- Il ruolo delle architetture e dei framework nella costruzione e nel progetto di sistemi software
- Lo spazio concettuale della programmazione ad oggetti: dai costrutti ai modelli
- I concetti e i simboli fondamentali di UML
- Metodologie per l'uso di UML.
- Il processo di sviluppo: dal modello a cascata al modello incrementale
- La costruzione del software come sequenza di modelli
- Introduzione a Rational Rose come ambiente di supporto a processi di sviluppo incrementali basati su modelli

### Materiale didattico

Vengono fornite dispense a cura del docente, sia in forma elettronica sia in forma cartacea. Possibili titoli di testi e manuali di consultazione saranno esposti sul sito web del docente [www.natali.deis.unibo.it](http://www.natali.deis.unibo.it)

## INGEGNERIA DEL SOFTWARE LA

BO, cds: I

Docente: Giuseppe Bellavia ric.

### Programma

#### Obiettivi:

- fornire i concetti di base dell'ingegneria del software, mediante la descrizione del processo di sviluppo del software (analisi, specifica, progettazione, *testing/debugging*, manutenzione);
- esaminare tecniche avanzate per il progetto e lo sviluppo di applicazioni, con particolare riferimento alla programmazione orientata agli oggetti (*object-oriented*).

Processo di produzione del software: ciclo di vita del software, modello a cascata, modello evolutivo, modello trasformazionale, modello a spirale di Boehm.

Fattori di qualità del prodotto software: qualità interne e qualità esterne. Affidabilità, modificabilità, comprensibilità / leggibilità, riusabilità.

Processo di ingegnerizzazione dei sistemi: definizione dei requisiti, progetto, realizzazione dei componenti, integrazione, installazione, messa in opera e training, evoluzione. Verifica e convalida del software: analisi statica, analisi dinamica, collaudo del modulo, collaudo d'integrazione, *debugging*, controllo della qualità. Evoluzione del software: manutenzione, documentazione, gestione delle versioni. Re-ingegnerizzazione del software: conversione del linguaggio, ristrutturazione del codice (*refactoring*), *reverse engineering*. Pianificazione, controllo e gestione del processo produttivo. Analisi dei costi. Gestione del gruppo di lavoro. Gestione dei rischi: rischi relativi ai requisiti, rischi tecnologici, rischi legati alle risorse umane, rischi politici.

Struttura a livelli di un'applicazione: *Presentation Manager*, *Presentation Logic*, *Application Logic*, *Data Logic*, *Data Manager*, *Middleware*.

Analisi e progettazione *object-oriented*. Modello del processo di sviluppo di software *object-oriented*.

Processo di analisi: raccolta dei requisiti, analisi del dominio, analisi dei requisiti, analisi dei rischi.

Processo di specifica: modelli *data-flow*, modello E-R, automi a stati finiti, reti di Petri, mo-

delli *object-oriented*. Realizzazione di prototipi. Validazione delle specifiche. Evoluzione delle specifiche.

Tecniche di progettazione: *top-down* vs *bottom-up*, decomposizione in moduli, progettazione *object-based*, tipi di dati astratti, incapsulamento, progettazione *object-oriented*, ereditarietà, *object composition*, *delegation*, progettazione generica rispetto ai tipi, *template*, gestione delle eccezioni, *pattern*.

Modello statico e modello dinamico. UML (*Unified Modeling Language*).

Casi d'uso, scenari e diagrammi delle classi. Individuazione delle classi e delle loro responsabilità; individuazione delle relazioni tra classi. Tipologia delle relazioni tra classi: ereditarietà, dipendenza, associazione, aggregazione, composizione. Individuazione degli attributi e delle operazioni. Pre-condizioni, post-condizioni, invarianti di classe, eccezioni.

Scenari di funzionamento del sistema. Diagrammi di sequenza, di collaborazione e di stato.

Progettazione *object-oriented*: sviluppo incrementale e sviluppo iterativo; progettazione logica; realizzazione delle relazioni tra classi; controllo della visibilità; modifiche per utilizzare il livello di ereditarietà supportato dal linguaggio di programmazione scelto. Progettazione dei componenti *Data Logic*, *Presentation Logic* e di interazione con sistemi esterni.

*Design Pattern*. Classificazione dei *design pattern*: *pattern* di creazione, *pattern* strutturali e *pattern* comportamentali.

Tecnologie: linguaggio C++, linguaggio C#, linguaggio JavaScript (cenni), DHTML e CSS (cenni), XML, XSD e XSLT, .NET (cenni).

Nota: alcuni degli argomenti suddetti verranno approfonditi nel modulo di "Laboratorio di Informatica L-B".

#### Esame

Prova a quiz sugli argomenti trattati a lezione. Analisi, progetto e realizzazione di un'applicazione in cui si utilizzano più linguaggi e/o tecnologie. Prova orale con discussione del progetto.

#### Bibliografia

Fotocopie dei lucidi visti a lezione.

A. FUGGETTA, C. GHEZZI, S. MORASCA, A. MORZENTI, M. PEZZÈ, *Ingegneria del software – progettazione, sviluppo e verifica* (seconda edizione), Mondadori Informatica, 1996.

I. SOMMERVILLE, *Software Engineering* (quinta edizione), Addison Wesley, 1995.

M. FOWLER, *UML Distilled* (edizione italiana), Addison Wesley, Settembre 2000.

G. BOOCH, J. RUMBAUGH, I. JACOBSON, *The Unified Modeling Language User Guide*, Addison Wesley, 1999.

S. BENNET, J. SKELTON, K. LUNN, *Introduzione a UML*, McGraw-Hill, 2002.

E. GAMMA, R. HELM, R. JOHNSON, J. VLISSIDES, *Design Patterns – Elements of Reusable Object-Oriented Software*, Addison Wesley, 1998.

M. FOWLER, *Refactoring – Improving the Design of Existing Code*, Addison Wesley, 1999.

## INGEGNERIA DEL TERRITORIO

Docente: Giovanni Salizzoni ric.

BO, cds: R, C

#### Introduzione

Gli enormi cambiamenti intervenuti nella progettazione, esecuzione e gestione delle opere di ingegneria hanno reso sempre più inadeguata una certa figura di ingegnere o architetto, ereditata

dal secolo scorso, ma fino a poco tempo fa ancora presente a livello di indirizzi di studio. Si trattava di un tecnico con una formazione di base prevalentemente strutturistica o, rispettivamente storico/compositiva, indirizzata alla progettazione di nuove opere, e portato a concepire il progetto come attività autonoma e in se stessa compiuta.

La crisi di questo modello ha portato sinora a differenziare la professione in uno spettro sempre più ampio di specializzazioni.

Oggi, proprio l'accresciuta complessità dei problemi richiede delle figure professionali capaci di ricondurre ad una sintesi lo studio delle diverse attività umane che si svolgono sul territorio, e che spesso rischiano (specie nel nostro paese) di trasformarsi in variabili non correlate ed incontrollabili.

Non si tratta quindi di operare questa sintesi come compendio di conoscenze tecnologiche: in questo campo, anzi, la continua dilatazione delle conoscenze richiederà sempre di più la specializzazione. Si tratta piuttosto di creare un professionista capace di individuare e di gestire tutte le complesse relazioni che intervengono in un progetto, sia in senso verticale (determinazione delle esigenze da soddisfare – ottimizzazione delle scelte e delle procedure di attuazione – modalità di gestione) sia in senso orizzontale (interfaccia con altri elementi del territorio interessati dal progetto; interferenze con altri progetti).

### **Programma**

- **Base di legislazione urbanistica:** quadro sintetico del contesto legislativo in cui il professionista si muove: collegamenti e richiami, potenzialità delle innovazioni legislative
- **Elementi di analisi dell'ambiente urbano e del territorio**
- **Pianificazione** – pianificazione degli interventi – pianificazione del territorio
- **Tutela, ambiente e paesaggio**
- **Elementi per una valutazione economica** – strategie e criteri per il finanziamento degli interventi
- **I sistemi della mobilità** – La mobilità come elemento cardine della pianificazione e della struttura del territorio
- **Pianificazione e sicurezza** – criteri di pianificazione del territorio in un paese ad alto rischio come è l'Italia
- **Garanzia della Qualità** – linee teoriche generali, modalità di applicazione ed esemplificazioni per l'utilizzo di un sistema di procedure di Garanzia della Qualità

Il corso è completato da **esercitazioni obbligatorie** su temi in relazione ai contenuti del programma

**L'esame** consiste in un colloquio individuale sugli argomenti trattati nelle lezioni e sull'esercitazione.

### **INGEGNERIA DELLE MATERIE PRIME**

**BO, cds: R, G\_BO, M**

Docente: **Fulvio Ciancabilla** prof. ord.

L'insegnamento si propone di fornire le nozioni di base e specialistiche sulle tecniche, le macchine e gli impianti che s'impiegano per la valorizzazione dei materiali solidi e fluidi estratti dal suolo e dal sottosuolo e per il trattamento e il riciclaggio delle materie prime seconde.

Brevi cenni storici. Tipici schemi di preparazione e loro inserimento nei cicli produttivi dei più importanti minerali e materiali rocciosi e nei processi di trattamento da rifiuti solidi.

Rappresentazione di un insieme di particelle solide: curve granulometriche e principali parametri che le caratterizzano.

La classificazione per dimensioni Per via diretta o vagliatura. Il funzionamento dei vagli e loro campo di applicazione. La vagliatura industriale e relativi problemi tecnici. Per via indiretta o classificazione. Basi teoriche della classificazione: moto di un corpo solido in un fluido. I classificatori industriali e loro scelta. Rendimento di una operazione di classificazione. I bacini di decantazione e loro dimensionamento.

La comminuzione Frantumazione e macinazione e loro campo pratico d'applicazione. Teorie della comminuzione con particolare riguardo alla determinazione dell'energia necessaria a ridurre di dimensioni un minerale od un materiale roccioso. La frantumazione: descrizione delle macchine impiegate per tale scopo e del loro funzionamento. I circuiti di frantumazione. Scelta del frantoio. La frantumazione come pretrattamento dei rifiuti solidi. Calcolo dell'energia necessaria alla macinazione. I circuiti chiusi di macinazione. Gli impianti di macinazione. Scelta del mulino. La concentrazione o l'arricchimento I principali metodi impiegati e principi fisici e chimici su cui si basano. I metodi gravimetrici; mezzi densi, crivelli e tavole a scosse. La flottazione: basi teoriche, le macchine usate e gli impianti. Tecnologia della flottazione. La concentrazione magnetica ed elettrostatica. Metodi speciali di concentrazione. La concentrazione applicata alla valorizzazione dei rifiuti. Principali macchine accessorie degli impianti di preparazione dei minerali. Criteri di sicurezza sul lavoro negli impianti. L'impatto ambientale provocato dagli impianti di preparazione dei minerali e le applicazioni tecniche usate per il suo contenimento.

#### *Le materie prime seconde*

Definizione e classificazione. I trattamenti di comminuzione e classificazione mirati particolarmente alle plastiche post consumo e ai materiali inerti di scarto da costruzione e demolizione (C&D). Principali caratteristiche fisico-meccaniche e possibili campi di riciclaggio. Lo studio del ciclo di vita (LCA) per le materie prime seconde.

#### *Indirizzo delle Tesi di laurea:*

- a carattere sperimentale, sulla applicazione dei principi della preparazione dei minerali;
- teoriche, sullo studio delle fenomenologie;
- di progetto, in merito a singole macchine od a schemi ed impianti di trattamento.

#### *Bibliografia*

Appunti delle lezioni, riveduti dal Docente.

*Enciclopedia della Ingegneria*, ISEDI: Volume VIII, parte 55, Ingegneria Mineraria, Preparazione dei minerali.

E.C. BLANC, *Tecnologia degli apparecchi di frantumazione e di classificazione dimensionale*, PEI, Parma, 1976.

A.M. GAUDIN, *Principles of Mineral Dressing*, McGraw, New York, 1939.

### **INGEGNERIA DELLE MATERIE PRIME**

**BO, cds: duamb**

Docente: **Alessandra Bonoli** prof. ass.

#### *Finalità*

Il corso si propone di fornire le nozioni di base e specialistiche sulle tecniche, le macchine e gli impianti utilizzati per la preparazione delle materie prime, a partire dai materiali rocciosi e dai

minerali estratti dal suolo e dal sottosuolo, e per il recupero di materie secondarie derivanti dal trattamento e dal riciclaggio dei rifiuti solidi.

### *Programma*

Brevi cenni storici. Generalità sui materiali rocciosi e sui minerali. Principali proprietà dei minerali.

La campionatura in situ e in laboratorio. Peso del campione e criteri di rappresentatività.

La granulometria di un insieme di particelle solide. Realizzazione in laboratorio delle analisi granulometriche e loro rappresentazione analitica.

La classificazione per dimensioni: classificazione per via diretta e indiretta. La vagliatura industriale. Principali tipi di vagli. I vibrovagli: capacità e rendimento. Basi teoriche della classificazione per via indiretta: legge del moto di un corpo solido immerso in un fluido. I classificatori industriali: classificatori meccanici e centrifughi. Gli idrocicloni. Il rendimento della classificazione indiretta. I bacini di decantazione: dimensionamento e criteri di progettazione.

Il pretrattamento e il trattamento primario fisico-meccanico delle acque di scarico: grigliatura e filtrazione, sedimentazione, flottazione.

La comminuzione. Teoria della comminuzione per la determinazione dei consumi energetici. Le leggi della comminuzione. Definizione e calcolo del "work index". La frantumazione. Tipi di frantoi. Parametri progettuali e di funzionamento. La macinazione. Tipi di mulini. I mulini cilindrici a sfere e a barre: calcolo dell'energia assorbita, scelta dei corpi macinanti e dei rivestimenti. La macinazione nell'industria ceramica.

La concentrazione. Le principali metodologie di concentrazione. La preconcentrazione a mezzi densi (sink-float). Metodi gravimetrici: i crivelli e le tavole a scosse. La separazione magnetica ed elettrostatica. La flottazione: le basi teoriche chimico-fisiche. La tecnologia della flottazione, le macchine, gli impianti.

Il trattamento dei R.S.U. Gli impianti di preselezione. Macchine e impianti per il recupero e il riciclaggio.

Casi specifici di progettazione: schemi generali di un impianto completo di arricchimento, di un impianto di preparazione degli inerti, di un impianto di selezione dei rifiuti.

### *Esercitazioni*

Il corso prevede esercitazioni, visite tecniche e seminari su argomenti specifici del programma.

### *Testi consigliati*

Dispense del corso redatte dal docente.

## **INGEGNERIA E TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO**

**BO, cds: L, I**

Docente: **Carlo Rossi** prof. ass.

### *Finalità*

L'Insegnamento si propone di illustrare i principali aspetti ingegneristici e tecnologici connessi con la realizzazione, a livello industriale, dei moderni sistemi di controllo e di automazione.

Sono considerate le classi di dispositivi e di problemi che tipicamente condizionano la realiz-

zazione di un sistema di controllo. Per ogni classe di dispositivi sono esaminati alcuni componenti tipici con particolare riferimento ai problemi di interfacciamento ed ai criteri di valutazione e di scelta del componente in relazione all'applicazione (tipicamente di controllo) da affrontare. Sono considerati in dettaglio i seguenti problemi: gli azionamenti elettrici, l'interferenza dei rumori con le apparecchiature di controllo, l'implementazione digitale e la messa in scala di regolatori e filtri.

Un tipico problema di controllo è esaminato in dettaglio. Esso si riferisce alla definizione delle specifiche ed alla progettazione con PLC di un sistema di controllo industriale che sarà sviluppato dagli studenti nel corso di esercitazioni di laboratorio.

### *Programma*

Progettazione del software per l'Automazione:

Criteri generali di progettazione del software di automazione. La standard IEC-1131. La progettazione delle sequenze operative delle macchine e degli impianti. Il GEMMA. Esempi. Illustrazione di un ambiente CAD per la progettazione.

Problemi di interfacciamento di alcuni trasduttori tipici nei sistemi di automazione:

Posizione: potenziometro, resolver, inductosin, encoder.

Velocità: dinamo, resolver, encoder.

Deformazione, pressione, forza: estensimetri.

Temperatura: termocoppie, termoresistenze, termistori.

Interfacciamento dei dispositivi di controllo con il processo:

Isolamento galvanico: optoisolatori e amplificatori di isolamento. Multiplexers e Sample and Hold.

Conversione analogico/digitale, digitale/analogica.

Implementazione digitale di regolatori e filtri:

Il problema della messa in scala e delle rappresentazioni numeriche.

Gli azionamenti elettrici per l'automazione

Caratteristiche generali di un azionamento, tipologie dei motori elettrici e tecniche di controllo. Il controllo vettoriale delle macchine in C.A.. Problematiche relative al controllo del moto. Struttura di controllo in cascata, con generazione di profili di moto ed azioni di controllo in avanti. Scelta e dimensionamento di un azionamento.

Compatibilità elettromagnetica delle apparecchiature di controllo

Terminologia e definizioni; classificazione dei disturbi. La normativa europea EMC. I principali percorsi di accoppiamento dei disturbi (EMI). Tecniche di protezione per apparecchiature operanti in bassa frequenza. Esempi.

### *Testi consigliati:*

BONFATTI, MONARI, SAMPIERI, *IEC 1131-3 Programming Methodology*, CJ International.

Verranno inoltre fornite dispense a cura del docente e copie dei fogli applicativi dei dispositivi presentati.

### *Esami:*

Lo svolgimento della prova di esame consiste in un tema scritto di verifica delle tematiche del corso. Prova orale a discrezione del Docente.

### *Tesi di Laurea:*

Le tesi di laurea assegnate sono essenzialmente a carattere sperimentale, con svolgimento presso il laboratorio del Dipartimento e/o presso laboratori di industrie.

**Finalità del Modulo**

L'obiettivo del corso è illustrare i principali aspetti ingegneristici e tecnologici connessi con la realizzazione, a livello industriale, dei moderni sistemi di controllo e di automazione.

Gli argomenti trattati sono suddivisibili in due tematiche principali:

- architettura e componenti dei sistemi di controllo;
- software per il controllo e l'automazione.

Nell'ambito della prima tematica vengono brevemente discusse le architetture hardware dei sistemi di controllo mappando gli "schemi funzionali" visti nei moduli di Controlli Automatici in "schemi tecnologici". Successivamente, vengono presentate le principali classi di dispositivi utilizzati nella realizzazione di sistemi di controllo. Per ogni classe sono analizzati alcuni componenti, con particolare riferimento ad i criteri di scelta e dimensionamento in funzione dell'applicazione considerata.

Nella seconda tematica sono presentati i principali aspetti dell'implementazione su sistemi software di algoritmi di controllo e di gestione dell'automazione di processo. In dettaglio, viene introdotta la problematica di gestione delle diverse fasi di funzionamento di un sistema (automazione di processo) tramite lo standard IEC1131. Particolare attenzione è dedicata all'implementazione su PLC (Programmable Logic Controller) che costituisce uno standard-de-facto per l'automazione di processo. Tramite l'utilizzo di un opportuno CAD, sono presentati diversi esempi agli studenti ai quali viene, in seguito, richiesto di affrontare autonomamente un problema di automazione assegnato dal docente.

**Propedeuticità**

E' indispensabile aver seguito i moduli di Controlli Automatici LA ed LB.

**Programma**

Generalità sull'architettura tecnologica di sistemi di controllo. Discretizzazione temporale di algoritmi di controllo Equazione alle differenze, Trasformata Z, Stabilità, Metodi di discretizzazione. Trasduttori: definizione, classificazione (sensori e attuatori), caratterizzazione. Principali sensori per l'automazione: Posizione: potenziometro, resolver, encoder. Velocità: dinamo, resolver, encoder. Deformazione, pressione, forza: estensimetri. Temperatura: termocoppie, termoresistenze, termistori. Corrente elettrica: shunt resistivo, ad effetto Hall. Interfacciamento dei dispositivi di controllo con il processo: Multiplexers e Sample and Hold. Conversione analogico/digitale, digitale/analogica. Generalità sulle unità di elaborazione digitale per il controllo: Microcontrollori e DSP. PLC. PC industriali Software per il controllo e l'automazione. Cenni sui sistemi Real-Time per applicazioni di controllo. Gestione delle sequenze operative di macchine e impianti. Criteri generali di progettazione. Lo standard IEC-1131. La progettazione delle sequenze operative. Esempi. Illustrazione di un ambiente CAD per la progettazione. Presentazione dei temi su cui eseguire il progetto. Gli azionamenti Elettrici per l'Automazione Caratteristiche generali di un azionamento e tipologie dei motori elettrici e tecniche di controllo. Problematiche relative al controllo del moto. Scelta e dimensionamento di un azionamento.

**Testi Consigliati**

Materiale fornito dal docente.

BONFATTI, MONARI, SAMPIERI, *IEC 1131-3 Programming Methodology*, CJ International (per approfondimenti).



**Modalità d'Esame**

Esame scritto con domande sui temi del corso e 2 esercizi:

- il primo relativo a catena di interfacciamento.

- Il secondo relativo a scelta e dimensionamento di azionamenti elettrici

Presentazione orale del progetto di automazione.

**Tesi di Laurea**

Sono disponibili tesi di laurea con svolgimento presso il Laboratorio di Automazione e Robotica (LAR) del DEIS e/o presso laboratori di industrie.

**INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE****BO, cds: R, C**

Docente: **Maurizio Mancini** ric.

**Acqua:** Cicli e bilancio di acque naturali e reflue. Approvvigionamento industriale e domestico. Portate e caratteristiche di qualità di acque di rifiuto industriali e domestiche. Trattabilità ed obiettivi in relazione agli usi. Piani di bacino per il risanamento di corpi idrici. Bilanci di massa ed energia nei processi di trattamento. Cinetica e biochimica di biomasse batteriche e algali adese o sospese. Localizzazione e progetto di impianti di trattamento per acque di scarico domestiche. Trattamento e smaltimento di fanghi di risulta. Rimozione biologica di azoto e fosforo. Tecniche di disinfezione delle acque. Sistemi naturali di trattamento o fissaggio. Sistemi di trattamento per piccole comunità. Controllo degli odori. Costi. Appalto e Capitolati. Rilascio di reflui e modellazione della qualità delle acque in fiumi, laghi, acque di transizione e costiere.

**Rifiuti solidi:** Caratteristiche qualitative e quantitative di rifiuti solidi urbani ed industriali. Produzione e gestione. Raccolta e smaltimento in discarica controllata. Previsione, drenaggio ed accumulo del percolato. Produzione ed utilizzo dei biogas. Trattamento delle componenti organiche attraverso compostaggio aerato o stabilizzazione anaerobica. Produzione di RDF. Incenerimento.

**Inquinamento atmosferico:** Meteorologia ed inquinamento atmosferico. Emissioni inquinanti e chimismo dell'atmosfera. Emissioni industriali e da traffico veicolare. Cenni su modelli di dispersione in atmosfera. Limiti alle immissioni in atmosfera.

L'insegnamento prevede escursioni e visite didattiche presso impianti di trattamento e zone oggetto di bonifica o rinaturalizzazione.

**INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE****BO, cds: duamb**

Docente: **Alessandra Bonoli** prof. ass.

**Acqua:** Cicli e bilancio di acque naturali e reflue. Approvvigionamento industriale e domestico. Portate e caratteristiche di qualità di acque di rifiuto industriali e domestiche. Trattabilità ed obiettivi in relazione agli usi. Piani di bacino per il risanamento di corpi idrici. Bilanci di massa ed energia nei processi di trattamento. Cinetica e biochimica di biomasse batteriche e algali adese o sospese. Localizzazione e progetto di impianti di trattamento per acque di scarico domestiche. Trattamento e smaltimento di fanghi di risulta. Rimozione biologica di azoto e fosforo. Tecniche di disinfezione delle acque. Sistemi naturali di trattamento o fissaggio. Sistemi di trat-

tamento per piccole comunità. Controllo degli odori. Costi. Appalto e Capitolati. Rilascio di reflui e modellazione della qualità delle acque in fiumi, laghi, acque di transizione e costiere.

**Rifiuti solidi:** Caratteristiche qualitative e quantitative di rifiuti solidi urbani ed industriali. Produzione e gestione. Raccolta e smaltimento in discarica controllata. Previsione, drenaggio ed accumulo del percolato. Produzione ed utilizzo dei biogas. Trattamento delle componenti organiche attraverso compostaggio aerato o stabilizzazione anaerobica. Produzione di RDF. Incenerimento.

**Inquinamento atmosferico:** Meteorologia ed inquinamento atmosferico. Emissioni inquinanti e chimismo dell'atmosfera. Emissioni industriali e da traffico veicolare. Cenni su modelli di dispersione in atmosfera. Limiti alle immissioni in atmosfera.

L'insegnamento prevede escursioni e visite didattiche presso impianti di trattamento e zone oggetto di bonifica o rinaturalizzazione.

## **INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE II**

**BO, cds: R**

Docenti: **Gianni Luigi Bragadin** prof. ord.

### 1) I nuovi insediamenti antropici.

Le varie tipologie, residenziale, turistica, industriale, viste alla luce della progettazione delle opere di urbanizzazione, in particolare fognature bianche e nere, reti gas ed acqua, polifore e reti telecom.

Letture dei prg, regolamenti edilizi e igiene.

Studio ambientale piano altimetrico ed individuazione dei ricettori e dei fornitori. Fognature bianche: aree a diversa permeabilità, piogge, progettazione dei tracciati e pendenze, scelta dei materiali, pozzetti, raccordi, caditoie. Calcolo delle portate, progetto esecutivo della rete, vasche di prima pioggia, stazioni di sollevamento. Vasche di laminazione.

Determinazione del numero di abitanti equivalenti. Individuazione dei fabbisogni.

Distribuzione acqua, gas, f.m., telefono, raccolta R.S.U.

Fognatura nera: determinazione delle portate medie e massime: progettazione dei tracciati e pendenze, scelta dei materiali, pozzetti, caditoie. Calcoli idraulici, progetto esecutivo della rete, stazioni di sollevamento.

Verifica delle reti planimetrica ed altimetrica.

### 2) Verifica della possibilità di immissione in impianti di trattamento esistenti.

Dimensionamento di impianto per piccole comunità.

L'*esame* è costituito da una prova orale preceduta dalla presentazione di un progetto redatto dallo studente utilizzando ACAD, Excel, Fortran.

### *Bibliografia obbligatoria*

METCALF & EDDY, *Wastewater engineering treatment disposal reuse*, McGraw-Hill Book Company, Boston.

AA.VV., *Trattamento delle acque di rifiuto*, Istituto per l'ambiente, Milano.

IMHOFF & IMHOFF, *Manuale del trattamento delle acque di scarico*, Franco Angeli, Milano.

**Esercitazioni**

L'Insegnamento prevede una serie di esercitazioni, visite tecniche e conferenze sugli argomenti del programma.

**INTELLIGENZA ARTIFICIALE**

BO, cds: L, I

Docente: Paola Mello prof. ord.

**Obiettivi dell'Insegnamento**

Presentare i concetti principali ed i metodi che stanno alla base della progettazione sistemi di Intelligenza Artificiale.

Introdurre i principali linguaggi ed ambienti di programmazione che consentono l'effettivo sviluppo di sistemi basati sulla conoscenza.

Discutere l'applicazione di tecniche di Intelligenza Artificiale al con particolare enfasi al campo applicativo dei Sistemi Esperti (nel campo della diagnosi, progettazione, riconoscimento, planning).

Mettere in grado lo studente di utilizzare linguaggi ed ambienti di Intelligenza Artificiale per realizzare effettivamente alcuni sistemi basati sulla conoscenza.

**Programma**

## 1) Introduzione all'Intelligenza Artificiale:

Un po' di storia. I principali campi applicativi. I sistemi basati sulla conoscenza e i loro principi architetturali.

## 2) Richiami sul linguaggio PROLOG.

## 3) Risoluzione di problemi:

Problemi come spazio degli stati. Metodi di soluzione forward e backward. Strategia ricerca (non informate ed euristiche). Propagazione di vincoli.

## 4) Metodi per la rappresentazione della conoscenza:

Logica dei predicati del I ordine e cenni su alcune logiche non standard. Regole di produzione (e sistemi di produzione). Reti semantiche, frames ed ereditarietà.

## 5) Altre modalità di ragionamento:

Sistemi di mantenimento della verità. Ragionamento abduttivo. Ragionamento incerto e statistico (reti bayesiane e logica fuzzy). Cenni sui modelli connessionisti e reti neurali.

## 6) I Sistemi Esperti:

Come si sviluppa un Sistema Esperto. Principali ambienti software per lo sviluppo di Sistemi Esperti. Sistemi Esperti nel campo della Diagnosi e Progettazione.

## 7) Altre Applicazioni di Intelligenza Artificiale:

Pianificazione. Apprendimento. Scheomling.

**Propedeuticità consigliate:**

Linguaggi e Traduttori.

Si richiede comunque una buona conoscenza del linguaggio PROLOG.

**Esercitazioni:**

L'insegnamento prevede esercitazioni pratiche su Workstation per la sperimentazione e sviluppo di tecniche di rappresentazione della conoscenza e risoluzione di problemi utilizzando il linguaggio PROLOG. Si prevede inoltre l'utilizzo di un ambiente per lo sviluppo di Sistemi Esperti.

**Testi consigliati per Intelligenza Artificiale:**

E. RICH, K. KNIGHT, *Intelligenza Artificiale*, McGraw Hill, Seconda Edizione 1992.  
E. CHARNIAK, D. MCDERMOTT, *Introduzione all'intelligenza Artificiale*, Masson, 1988.

**Testi consigliati per PROLOG:**

L. CONSOLE, E. LAMMA, P. MELLO, *Programmazione Logica e Prolog*, UTET, 1991.  
I. BRATKO, *Programmare in Prolog per l'Intelligenza Artificiale*, Masson ed Addison Wesley, 1988.

**INTERAZIONE FRA LE MACCHINE E L'AMBIENTE****BO, cds: R, M, G\_Bo**Docente: **Antonio Peretto** prof. staord.

Obiettivo dell'Insegnamento è lo studio delle interazioni tra l'ambiente e le macchine con particolare riferimento alle emissioni inquinanti all'impatto ambientale relativo ai principali sistemi energetici oggi utilizzati o proposti per la produzione di energia.

Vengono presentate le principali emissioni inquinanti (chimiche, acustiche e termiche), analizzandone gli effetti e le conseguenze sull'uomo e sull'ambiente. In quest'ambito vengono considerati i processi di combustione, nonché le caratteristiche e la classificazione dei combustibili oggi impiegati. Vengono quindi descritte le problematiche e le soluzioni attualmente utilizzate per controllare e limitare l'inquinamento ambientale, con riferimento sia ai sistemi energetici tradizionali (motori a combustione interna, sistemi motori a vapore, con turbina a gas e nucleari; sistemi energetici combinati e per cogenerazione), sia a quelli non tradizionali (che utilizzano fonti energetiche rinnovabili). Principali metodologie e la strumentazione utilizzata per la misura delle emissioni inquinanti, unitamente a considerazioni di carattere economico ed a cenni sulla normativa vigente.

1. Premesse e concetti introduttivi.

2. L'inquinamento derivante dall'esercizio delle macchine e dei sistemi energetici. Impatto ambientale ed emissioni inquinanti (chimiche, termiche, acustiche) connesse all'esercizio delle macchine e dei sistemi per la produzione di energia. Principali emissioni inquinanti (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, particolato), meccanismi di formazione e conseguenze sull'ambiente. Problematiche connesse con la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>: combustibili alternativi e fonti energetiche alternative.

3. Turbine a gas. Gruppi turbogas per produzione di energia e delle turbine a gas per propulsione aeronautica. Influenza delle condizioni operative e delle caratteristiche dei combustibili impiegati. Metodi per la riduzione delle emissioni: criteri di progettazione della camera di combustione e tecniche di post-trattamento dei gas combustibili.

4. Sistemi a vapore per la produzione di energia. Caratteristiche dei generatori di vapore. Problematiche connesse con l'inquinamento termico derivante dai sistemi a vapore. Metodi per il controllo e la riduzione delle emissioni: progettazione del generatore di vapore e post-trattamento dei fumi.

5. Motori a combustione interna alternativi. Emissioni inquinanti caratteristiche dei MCI ad accensione comandata e Diesel. Effetto delle variabili motoristiche e delle condizioni operative. Sistemi alternativi di propulsione nei trasporti ed impiego di combustibili non tradizionali. Richiami sulla normativa vigente (nazionale ed internazionale) relativamente alle emissioni da MCI.

6. Sistemi non convenzionali per la produzione di energia. Impiego di fonti energetiche non convenzionali.

7. Misura delle emissioni inquinanti. Metodologie e strumentazione per la misura delle emissioni inquinanti delle macchine e dei sistemi per la produzione di energia.

#### *Testi adottati*

Dispense a cura del Docente

### **LABORATORIO DI ANALISI NUMERICA**

**BO, cds: M**

Docente: **Fiorella Sgallari** prof. straord.

#### *Scopo del corso*

Il corso si propone di fornire le nozioni e gli strumenti di calcolo necessari per la soluzione numerica di semplici problemi di ingegneria. Le lezioni saranno svolte in laboratorio e si utilizzerà il software MATLAB ed altri applicativi di interesse.

#### *Programma del corso*

- Introduzione all'ambiente MATLAB.
- Numeri finiti, errori di arrotondamento, condizionamento di un problema, stabilità numerica.
- Equazioni lineari. Metodi diretti: fattorizzazione LU di una matrice, il metodo di eliminazione di Gauss, strategie di pivoting, algoritmo di Cholesky. Metodi iterativi: Metodo di Jacobi, Gauss-Seidel, SOR. Matrici malcondizionate.
- Equazioni e sistemi non lineari. Metodo di bisezione, metodo di Newton, metodo delle corde, metodo di regula falsi.
- Interpolazione ed approssimazione di dati sperimentali.
- Derivazione ed integrazione.
- Equazioni differenziali ordinarie. Metodi ad un passo e più passi: metodo di Eulero, Runge-Kutta e Adams. Equazioni stiff.

#### *Valutazione*

Saranno svolti esercizi e progetti in laboratorio.

#### *Dispense*

Lucidi del corso, esercizi di laboratorio con soluzioni ed esempi svolti di progetti.

### **LABORATORIO DI ANALISI NUMERICA**

**FO, cds: cla, clm**

Docente: **Fiorella Sgallari** prof. straord.

#### *Scopo del corso*

Il corso si propone di fornire le nozioni e gli strumenti di calcolo necessari per la soluzione numerica di semplici problemi dell'ingegneria. Nel corso sarà utilizzato il software MATLAB.

*Programma del corso*

- Introduzione all'ambiente MATLAB (Fondamenti, operatori di base, vettori e matrici, formato output.
- Grafici, gestione di più finestre grafiche, stampa di un grafico. Programmazione MATLAB, Script e Function, flussi di controllo.
- Numeri finiti, errori di arrotondamento, condizionamento di un problema, stabilità numerica.
- Sistemi di equazioni lineari. Metodi diretti: il metodo di eliminazione di Gauss, strategie di pivoting.
- Equazioni non lineari. Metodo di bisezione, metodo di Newton, metodo delle corde, metodo di regula falsi.
- Interpolazione ed approssimazione di dati sperimentali. Interpolazione polinomiale: formula di Lagrange e di Newton. Approssimazione ai minimi quadrati (cenni).

*Valutazione*

L'esame consiste nella realizzazione di un progetto di laboratorio.

*Dispense*

Introduzione a MATLAB e richiami sulle matrici (disponibile nella pagina web del docente).  
Lucidi del corso, esercizi di laboratorio con soluzioni e esempi di progetti svolti a richiesta.

**LABORATORIO DI CALCOLO NUMERICO****BO, cds: Q**

Docente: **Fiorella Sgallari** prof. straord.

*Scopo del corso*

Il corso si propone di fornire le nozioni e gli strumenti di calcolo necessari per la soluzione numerica di semplici problemi di ingegneria. Nel corso saranno utilizzati i software Microsoft Word, Microsoft Excel, ISIM, TKSolver e il compilatore FORTRAN.

*Programma del corso*

- Introduzione al linguaggio Fortran.
- Introduzione a Microsoft Word e Excel.
- Numeri finiti, errori di arrotondamento, condizionamento di un problema, stabilità numerica.
- Algoritmi di Gauss, Thomas, di Gauss-Seidel, Jacobi e SOR per la soluzione di sistemi lineari.
- Metodi di bisezione, corde, regula-falsi, Newton e Newton-Raphson per la soluzione di equazioni e sistemi non lineari con l'ausilio del software TKSolver.
- Interpolazione ed approssimazione di dati sperimentali.
- Derivazione ed integrazione.
- Metodi di Runge-Kutta per la soluzione di equazione differenziali ordinarie con l'ausilio del software ISIM.

*Valutazione*

Saranno svolti esercizi e progetti in laboratorio.

*Dispense*

Lucidi del corso, esercizi di laboratorio con soluzioni ed esempi svolti di progetti.

**LABORATORIO DI AUTOMAZIONE LA****BO, cds: I**Docente: **Andrea Tilli** ric.*Finalità del Modulo*

L'obiettivo principale del corso è di illustrare le principali problematiche relative al progetto di sistemi di controllo tenendo conto sia di aspetti metodologici, sia di aspetti implementativi e tecnologici.

*Propedeuticità*

È indispensabile aver seguito i moduli di Controlli Automatici LA ed LB

È consigliabile aver seguito il modulo di Ingegneria e Tecnologie dei Sistemi di Controllo LA

*Programma*

Richiami riguardanti il progetto di sistemi di controllo automatici.

Progetto di un sistema di controllo d'esempio.

Presentazione e discussione di diversi problemi di progetto tra cui gli studenti dovranno scegliere un progetto da sviluppare.

*Testi Consigliati*

I testi ed il materiale usato nei moduli di Controlli Automatici LA ed LB.

*Modalità d'Esame*

Presentazione del progetto realizzato

**LABORATORIO DI CHIMICA****BO, cds: Q**Docente: **Corrado Berti** prof. straord.

Il laboratorio didattico di chimica prevede una serie di esercitazioni pratiche, durante le quali agli studenti sarà insegnato come utilizzare le più comuni e semplici tecniche di laboratorio chimico, quali ad esempio:

- Tecniche per le analisi ponderali e volumetriche
- Tecniche cromatografiche
- Sintesi e purificazione di sostanze organiche

In particolare verranno proposte le seguenti esperienze:

- Analisi dei cationi per via secca e per via umida; analisi degli anioni per via umida
- Verifica della stechiometria di una reazione
- Titolazioni per precipitazione
- Titolazioni Redox
- Titolazioni acido-base
- Titolazioni complessometriche
- Preparativa organica: sintesi dell'acido benzoico e sintesi dell'aspirina
- Termochimica: determinazione del calore di reazione
- Separazioni e purificazione di prodotti tramite tecniche cromatografiche

Si prevede l'uso diretto da parte degli studenti di piccole apparecchiature quali: bilance, misuratori del punto di fusione e di ebollizione, strumenti per l'analisi volumetrica, colorimetri, pH-metri, evaporatori rotanti, ecc.

Obiettivo del laboratorio didattico è quello di fornire agli studenti esperienze dirette relative ad argomenti rilevanti trattati nel corso di Fondamenti di Chimica, di fornire le conoscenze minime necessarie per operare con sicurezza in un laboratorio chimico, ed inoltre fornire loro la capacità di condurre esperimenti e di analizzarne ed interpretarne i dati.

*Testo consigliato:*

M. CONSIGLIO, V. FRENNA, S. ORECCHIO, *Il laboratorio di Chimica*, Edises.

## LABORATORIO DI DIAGNOSTICA DELLE STRUTTURE

FO, cds: dum, clm

Docente: **Giorgio Minak** ric.

### Estensimetria

Introduzione.

Estensimetri meccanici.

Estensimetri capacitivi.

Estensimetri induttivi.

Estensimetri ottici (a diffrazione e interferenza).

Legame tra la dilatazione lungo l'asse del conduttore e la variazione di resistenza elettrica.

Materiali per estensimetri e definizione del fattore di sensibilità della lega.

Il fattore di sensibilità dell'estensimetro e il fattore di sensibilità trasversale.

Influenza della variazione di temperatura sulla sensibilità ed autocompensazione.

Potenza massima dissipabile.

I circuiti di misura:

– circuito potenziometrico;

– circuito a ponte di Wheatstone.

Sensibilità dei circuiti.

Modalità per la compensazione termica nei due circuiti.

Trasduttori.

Rosette estensimetriche.

Analisi delle informazioni ottenute mediante i trasduttori e le rosette estensimetriche.

Prove di Trazione e di fatica oligociclica.

*Libro consigliato:*

K. HOFFMANN, *An introduction to Measurements Using Strain Gages*, HBM, Darmstadt, 1989.

## LABORATORIO DI DIAGNOSTICA STRUTTURALE

FO, cds: dua, cla

Docente: **Giorgio Minak** ric.

1) Meccanica della Frattura Lineare Elastica (LEFM)

2) Propagazione a fatica del difetto (equazione di Paris).

3) Accettabilità dei difetti secondo le norme

4) Estensimetria

Introduzione.



- Estensimetri meccanici.
- Estensimetri capacitivi.
- Estensimetri induttivi.
- Estensimetri ottici (a diffrazione e interferenza).
- Legame tra la dilatazione lungo l'asse del conduttore e la variazione di resistenza elettrica.
- Materiali per estensimetri e definizione del fattore di sensibilità della lega.
- Il fattore di sensibilità dell'estensimetro e il fattore di sensibilità trasversale.
- Influenza della variazione di temperatura sulla sensibilità ed autocompensazione.
- Potenza massima dissipabile.
- I circuiti di misura:
  - circuito potenziometrico;
  - circuito a ponte di Wheatstone.
- Sensibilità dei circuiti.
- Modalità per la compensazione termica nei due circuiti.
- Trasduttori.
- Rosette estensimetriche.
- Analisi delle informazioni ottenute mediante i trasduttori e le rosette estensimetriche.
- Prove di Trazione e di fatica oligociclica.

#### 5) Controlli non distruttivi

- liquidi penetranti
- magnetoscopia
- ultrasuoni
- correnti indotte
- radiografie

#### Libri consigliati:

- K. HOFFMANN, *An introduction to Measurements Using Strain Gages*, HBM, Darmstadt, 1989.
- L. VERGANI, *Meccanica dei materiali*, McGraw-Hill, Milano 2001.
- J.W. DALLY, W.F. RILEY, *Experimental Stress Analysis*, Mc Graw-Hill Co. N.Y., 1978.
- H.O. FUCHS, R.I. STEPHENS, *Metal Fatigue in Engineering*, J. Wiley & Sons N.Y., 1980.
- D. BROEK, *Elementary Engineering Fracture Mechanics*, Sijthoff & Noordhoff, Alphen aan den Rijn, The Netherlands, 1978.

#### LABORATORIO DI ELABORAZIONE NUMERICA DEI SEGNALI LA CE, cds: dut Docente:

#### Scopi

Il corso si propone di fornire gli elementi per l'analisi, il progetto e la caratterizzazione dei sistemi di elaborazione dei segnali basati su tecniche numeriche. È prevista la implementazione di alcuni algoritmi su piattaforme DSP commerciali.

#### Contenuti

Introduzione all'elaborazione numerica dei segnali. Richiami sulla conversione A/D e D/A. Trasformata discreta di Fourier (DFT). Richiami sulla trasformata Z. Caratteristiche ed architetture di filtri FIR e di filtri IIR. Tecniche di interpolazione e decimazione.

- Architetture di processori per DSP.  
 Effetti dell'aritmetica a precisione finita.  
 Progetto e implementazione su DSP di:
- filtri FIR e IIR;
  - modulatori e demodulatori;
  - circuito ad aggancio di fase digitale (DPLL).

È prevista la realizzazione di un sottosistema di telecomunicazioni da concordarsi con il docente.

### Bibliografia

- A. V. OPPENHEIM, R. W. SCHAFFER, *Discrete-time Signal Processing*, Prentice Hall, 1989.  
 B. M. BELLANGER, *Digital Processing of Signals*, ed. John Wiley & sons.  
 C. J. G. PROAKIS, DIMITRIS G. MANOLAKIS, *Introduction to Digital signal Processing*, ed. Maxwell Macmillan International Ed.  
 D. INGLE, PROAKIS, *Digital Signal Processing Using MATLAB*, Brooks/Cole.

## LABORATORIO DI ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI LS

BO, cds: L

Docente: Eleonora Franchi Scarselli ric.

### Finalità del corso

Il corso è idealmente integrato all'insegnamento di "Elettronica dei Sistemi Digitali", dove gli studenti apprenderanno le moderne tecnologie di progetto dei circuiti integrati in tecnologia CMOS. In particolare, il corso prevede che gli studenti svolgano il progetto di una macrocella funzionalmente completa affrontando il problema ai diversi livelli di astrazione di un sistema digitale. Le esercitazioni si svolgeranno nel Laboratorio LAB1 su WS SUN con software avanzato per la progettazione di Circuiti Integrati (OPUS Cadence, SYNOPY). La tecnologia di riferimento è CMOS di ultima generazione, accessibile tramite il progetto europeo Europractice.

### Programma

Caratterizzazione della tecnologia CMOS disponibile e analisi, attraverso simulazioni guidate, delle caratteristiche elettriche dei dispositivi attivi e degli effetti dei parassiti associati alle linee di interconnessione.

Flusso di progetto basato su macrocelle. Progetto e caratterizzazione di una libreria di celle.

Progetto di una macrocella di cui sono definite le specifiche funzionali: il progetto comporta la definizione dell'architettura e delle soluzioni circuitali, il disegno del layout e la caratterizzazione completa per l'impiego del modulo in un flusso di progetto basato su macrocelle (descrizione in linguaggio VHDL e descrizione per il programma di Place&Route).

### Modalità di esame

Discussione dei progetti realizzati durante l'attività di laboratorio.

### Testi

JAN M. RABAAY, ANANTHA P. CHANDRAKASAN, BORIVOJE NIKOLIC, *Digital Integrated Circuits, A design Perspective*, 2nd Edition Prentice Hall, (atteso per ottobre 2002).

Verranno distribuite guide semplificate per l'utilizzo degli strumenti di CAD e la consultazione del manuale di processo della tecnologia CMOS disponibile per l'attività di progetto.

## **LABORATORIO DI ELETTRONICA LA**

Docente: **Massimo Lanzoni** prof. ass.

**BO, cds: L**

### *Finalità*

L'Insegnamento ha lo scopo di introdurre lo Studente alle problematiche della caratterizzazione sperimentale dei circuiti elettronici.

Il corso verrà svolto principalmente in laboratorio al fine di permettere allo Studente l'uso degli strumenti di misura e la realizzazione dei circuiti d'interesse.

L'accento verrà posto sulla verifica sperimentale nonché sulla corretta interpretazione della letteratura tecnica. Le esperienze di laboratorio, tutte facilmente riproducibili grazie al ridotto numero di componenti che dovranno essere usati, hanno lo scopo di verificare le caratteristiche elettriche di componenti e semplici circuiti nonché di richiamare l'attenzione dello Studente sulle principali problematiche di scelta dei componenti durante il progetto e la realizzazione di un sistema elettronico.

### *Programma*

Dopo aver richiamato i concetti utili allo studio delle reti elettriche, sia in regime continuo che variabile, verranno svolte esperienze guidate in laboratorio riguardanti sia circuiti analogici che digitali.

Le esercitazioni riguarderanno tra l'altro:

- Misure elettroniche: unità ed errori di misura
- Funzionamento dei principali strumenti di misura
- Criteri guida per l'allestimento di un banco di misura
- Caratterizzazione di circuiti passivi
- Amplificatori a componenti discreti
- Circuiti limitatori e stabilizzatori
- Caratteristiche statiche e dinamiche di dispositivi attivi
- Amplificatori operazionali e relative applicazioni circuitali
- Multivibratori
- Circuiti logici SSI

## **LABORATORIO DI INFORMATICA LA**

Docente: **Enrico Lodolo** prof. inc.

**BO, cds: I, T**

### *Obiettivi:*

- approfondire la conoscenza dei concetti e dei modelli alla base della programmazione di un sistema di calcolo;
- applicare tale conoscenza nell'analisi e nella realizzazione di applicazioni reali.

*Dal linguaggio C al linguaggio C++.*

Complementi di programmazione procedurale. Funzioni: prototipo di una funzione, passag-

gio di argomenti per riferimento, argomenti di *default*. Funzioni sovraccaricate (*overloading*): perché sovraccaricare il nome di una funzione, come sovraccaricare un nome di funzione, quando non sovraccaricare un nome di funzione, risoluzione del sovraccaricamento (cenni).

Progettazione basata sugli oggetti. Classi: definizione di una classe, attributi (dati membro), metodi (funzioni membro), accesso ai membri di una classe, oggetti (istanze) di una classe, il puntatore implicito *this*, costruttori e distruttori, operatori sovraccaricati e conversioni definite dall'utente.

Progettazione orientata agli oggetti. Ereditarietà e definizione di sottotipi: definizione di una gerarchia di classi, classe base, classi derivate, costruttori e distruttori (nel contesto della gerarchia), funzioni virtuali, funzioni virtuali pure, distruttori virtuali, polimorfismo. Ereditarietà multipla e virtuale (cenni). Ereditarietà pubblica, privata e protetta. Composizione di oggetti.

Progettazione generica rispetto ai tipi. *Template* di funzione e di classe: definizione di un *template*, istanziamento di un *template*, specializzazione di un *template*.

Progettazione basata sulle eccezioni. Gestione delle eccezioni: sollevare un'eccezione, intercettare un'eccezione.

Sviluppo di un programma: passi di sviluppo di un programma, ambienti e strumenti di programmazione. Esecuzione di un programma: ambiente di esecuzione di un programma, strumenti per il controllo dell'esecuzione di un programma.

Esercitazioni: linguaggio C, linguaggio C++.

### Esame

Test con domande a scelta multipla. Prova parziale durante il corso, non obbligatoria.

### Bibliografia

Fotocopie dei lucidi visti a lezione.

STANLEY B. LIPPMAN, JOSÉE LAJOIE, C++ *Corso di programmazione (Terza Edizione)*, Addison-Wesley – Gennaio 2000, pagg. 1209.

HARVEY M. DEITEL, PAUL J. DEITEL, C++ *Fondamenti di programmazione*, Apogeo – Marzo 2001, pagg. 670.

HARVEY M. DEITEL, PAUL J. DEITEL, C++ *Tecniche avanzate di programmazione*, Apogeo – Marzo 2001, pagg. 387.

## LABORATORIO DI INFORMATICA LB

Docente: Giuseppe Bellavia ric.

BO, cds: I

### Programma

Obiettivi:

– approfondire i concetti, le metodologie e le tecnologie introdotte nel corso di "Ingegneria del software L-A".

Esame: da definire.

### Bibliografia

Fotocopie dei lucidi visti a lezione.

M. FOWLER, *UML Distilled* (edizione italiana), Addison Wesley, Settembre 2000.

- G. BOOCH, J. RUMBAUGH, I. JACOBSON, *The Unified Modeling Language User Guide*, Addison Wesley, 1999.
- S. BENNET, J. SKELTON, K. LUNN, *Introduzione a UML*, McGraw-Hill, 2002.
- E. GAMMA, R. HELM, R. JOHNSON, J. VLISSIDES, *Design Patterns – Elements of Reusable Object-Oriented Software*, Addison Wesley, 1998.
- M. FOWLER, *Refactoring – Improving the Design of Existing Code*, Addison Wesley, 1999.

## LABORATORIO DI RICERCA OPERATIVA LA

BO, cds: I, T, L

Docente: **Andrea Lodi** ric.

### Finalità del corso

La finalità del corso è di dare allo studente familiarità con strumenti software che utilizzano le tecniche proprie della Ricerca Operativa e possono quindi essere proficuamente impiegati nella risoluzione di problemi di pianificazione e ottimizzazione. L'enorme espansione della rete Internet avvenuta negli ultimi anni ha permesso una moltiplicazione del numero di tali strumenti che sono disponibili per liberi professionisti e aziende. Lo studente viene guidato nel processo di acquisizione, valutazione e utilizzo di software per la pianificazione e l'ottimizzazione.

### Programma

- Simulazione a controllo dei processi
  - Introduzione alla Simulazione Numerica
  - Simulazione a controllo dei processi: concetti fondamentali ed esempi
  - Il software commerciale ARENA
  - Prove pratiche in Laboratorio
- Programmazione Lineare e Lineare Intera
  - Introduzione alla Programmazione Lineare e Lineare Intera
  - Programmazione Lineare e Lineare Intera: concetti ed esempi
  - Il software commerciale MPL
  - Prove pratiche in Laboratorio
- Un caso applicativo: Problemi di Impaccamento in due dimensioni
  - I problemi di Impaccamento in due dimensioni
  - Impatto applicativo dei problemi di Impaccamento in due dimensioni
  - Progettare un software di ottimizzazione: il problema, l'algoritmo e l'interfaccia
  - Prove pratiche in Laboratorio

### Modalità d'esame

Le prove pratiche di laboratorio di ciascuna delle tre parti del corso costituiscono la prova d'esame. Un'eventuale prova finale, sotto forma di tesina su una delle parti del corso, può essere necessaria come prova integrativa.

## LABORATORIO DI PROPULSIONE

FO, cds: cla

Docente: **Fabrizio Ponti** ric.

### Programma

- Turbina da elicottero Allison 250-C18*
- Schema di funzionamento. Fuel control ed apparati di controllo della turbina.

Introduzione alla gestione al banco della turbina.

#### *Introduzione ai problemi delle misure*

Teoria degli errori di misura, presentazione delle misure, propagazione degli errori.

Strumentazione per la misura delle grandezze di interesse per una sala prova motori aeronautici.

Campionamento ed aliasing.

#### *Introduzione all'uso di Matlab e Simulink*

Introduzione alle principali funzioni di Matlab e Simulink utili per l'elaborazione dei dati sperimentali.

#### *Effettuazione prove sperimentali*

Introduzione all'uso di una sala prove motori. Problematiche di sicurezza e gestione della prova al banco.

Rilevazione dati sperimentali.

#### *Elaborazione dati sperimentali*

Utilizzo dei dati sperimentali per lo sviluppo di un modello della turbina Allison 250-C18.

Elaborazione di un modello dinamico dell'accoppiamento turbina-banco prova motori.

Redazione di un elaborato scritto.

#### **Modalità di svolgimento della prova finale**

La prova consiste in un colloquio orale sugli argomenti del corso.

#### *Testi di riferimento*

Dispense in formato cartaceo ed elettronico fornite dal docente.

### **LABORATORIO DI SIMULAZIONE DEL VOLO**

**FO, cds: cla**

Docente: **Gian Marco Saggiani** prof. inc.

Le esercitazioni sono svolte presso l'hangar sotto la guida del docente coadiuvato da tecnici specialistici.

Come attività di laboratorio si prevedono:

1) Attività di utilizzo del simulatore di volo per studi ed esercitazione relative a:

- Valutazione delle caratteristiche di volo globali del velivolo: profili di missione, peso dell'aeroplano e sua suddivisione, fattore di contingenza, aria tipo internazionale, misure di velocità, prestazioni degli aeroplani

- Familiarizzazione con la strumentazione

- Propulsione: tipologie di propulsori, confronto tra la propulsione ad elica e a getto, consumi

- Studio di situazioni operative normali, anormali e di emergenza.

- Sviluppo di checklist per gli utilizzatori e gli equipaggi

### **LABORATORIO DI SIMULAZIONE E OTTIMIZZAZIONE - L**

**CE, cds: dui**

Docente: **Daniele Vigo** prof. ass.

#### **Programma**

Il corso propone di illustrare l'uso, l'implementazione e l'interfacciamento di algoritmi e package per la soluzione di problemi di ottimizzazione e decisione che si presentano in applicazioni industriali e gestionali.

1. Uso di package per la risoluzione di modelli di programmazione lineare continua (PL) ed intera (PLI): Costruzione di modelli PL/PLI. Struttura dei codici di calcolo per la risoluzione. Uso di linguaggi modellistici per PL/PLI (MPL, AMPL, ...). Uso solver per Excel per la risoluzione di PL/PLI. Interfacciamento ed interpretazione dei risultati.

2. Implementazione di algoritmi per problemi specifici di ottimizzazione: Instradamento di veicoli, taglio e impaccamento di oggetti, cammini a costo minimo. Aspetti implementativi e cenni alle strutture dati. Realizzazione ed interfacciamento di semplici algoritmi euristici.

3. Modelli di simulazione ad eventi discreti: Descrizione statica e dinamica di un sistema. Paradigmi modellistici (metodo della programmazione degli eventi, metodo della interazione dei processi). Costruzione di modelli di simulazione. Progettazione degli esperimenti ed uso della simulazione come strumento decisionale. Uso di un package di simulazione discreta (ARENA).

### **Organizzazione ed esami**

Il corso prevede lezioni ed esercitazioni in laboratorio ed esercitazioni libere in laboratorio. L'esame consiste in un progetto di laboratorio e relativa discussione orale.

### *Testi Consigliati*

Dispense a cura del docente (distribuite durante le lezioni e/o disponibili in rete).

Manuali dei package illustrati nel corso

## **LABORATORIO DI TELECOMUNICAZIONI LA**

**BO, cds: T, L**

Docente: **Gianni Pasolini** prof. inc.

Il modulo LA di Laboratorio di Telecomunicazioni, rivolto agli studenti del triennio applicativo e della laurea specialistica che non svolgono tirocinio in azienda, con valenza 3 crediti, introduce lo studente alle tecniche di telemisura di sistemi di telecomunicazioni, attraverso la definizione di un'architettura di rete eterogenea.

Il modulo prevede la progettazione e la realizzazione di circuiti per la misura delle prestazioni di sistemi numerici passabanda, la loro caratterizzazione in termini di segnale utile e disturbo, ed è finalizzato alla misura del tasso d'errore in presenza di varie cause di degradazione della qualità quali rumore termico e propagazione multipercorso.

*Modalità d'esame:* prova orale e prova di misura in laboratorio o esperienza preparata dallo studente

*Laboratori disponibili:* LAB1 e LAB TLC (in telemisura)

## **LABORATORIO DI TELECOMUNICAZIONI LB**

**BO, cds: T**

Docente: **Andrea Conti** prof. inc.

Il modulo LB di Laboratorio di Telecomunicazioni, rivolto agli studenti del triennio applicativo con valenza 3 crediti, introduce lo studente ai principi di misura di segnali e sistemi di telecomunicazioni, con particolare riferimento alle principali tecniche numeriche basate su digital signal processing.

Il modulo prevede il progetto, la realizzazione e la caratterizzazione mediante misura di filtri FIR, l'osservazione locale e in telemisura di spettri e diagrammi ad occhio di segnali digitali, la

misura dell'interferenza intersimbolo, e la misura del tasso di errore per bit di un sistema di trasmissione digitale via radio su canale affetto da rumore termico.

*Modalità d'esame:* prova orale e prova di misura in laboratorio o esperienza preparata dallo studente

*Laboratori disponibili:* LAB1 e LAB TLC (in telemisura)

## **LABORATORIO PROGETTUALE DI ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA I**

Docenti: **Roberto Ballandi** prof. inc.

**BO, cds:D(A-K)**

**Eugenio Ansaloni** prof. inc.

**BO, cds: D(L-Z)**

### **Il percorso progettuale del laboratorio**

Il Laboratorio è strettamente correlato con i Corsi di "Architettura e Composizione architettonica (N.O.)", "Teorie e Tecniche della progettazione architettonica (V.O.)" e "Composizione urbana(V.O.)" tenuti dalla Prof.ssa Arch. Luisella Gelsomino.

Il Laboratorio costituisce lo sviluppo operativo delle attività didattiche svolte con le Esercitazioni dei corsi suddetti.

L'obiettivo del Laboratorio è quello di giungere, attraverso un procedimento controllato e consapevole, alla definizione del progetto architettonico di un edificio.

La elaborazione progettuale richiesta riguarda la definizione di dettaglio dell'ambiente insediativo, dell'assetto e dell'organizzazione degli spazi esterni (sistema dei percorsi carrabili e pedonali, assetto del verde, ecc.), degli edifici (intesi come sistemi complessi costituiti da ambiti funzionali interrelati e composti da elementi tecnologici compatibili ed aggregabili), delle singole unità funzionali costituenti gli edifici e della verifica delle unità ambientali che le compongono e del loro modello di aggregazione.

Il Laboratorio opererà seguendo un programma definito per fasi corrispondenti allo sviluppo delle elaborazioni progettuali.

Le fasi di sviluppo del programma saranno svolte con modalità diverse in relazione ai contenuti progettuali; le modalità di attuazione saranno riferite a fasi di progetto realizzate con l'apporto collettivo del gruppo ed a fasi di elaborazione individuale con la predisposizione di elaborati personali.

Le fasi e le modalità di attuazione del programma sono le seguenti:

### **FASE 1 Lavoro di gruppo**

Le attività si avviano con lo studio dell'assetto micro-urbanistico dell'area e si sviluppano attraverso:

- la individuazione di requisiti e prestazioni in relazione ai destinatari dell'oggetto progettato
- la individuazione dell'utente finale
- la ricerca bibliografica e il raffronto comparativo degli esempi reperiti
- la raccolta documentativa della normativa di riferimento
- la definizione del modello/i di riferimento tipologico aggregativo

### **FASE 2 Lavoro di gruppo**

Si attua con l'avvio delle elaborazioni di progetto.

Individuato un edificio tra quelli definiti con la fase di composizione micro-urbanistica si procede alla sua progettazione architettonica di dettaglio.



Il lavoro prevede lo studio e l'approfondimento di alcune delle possibili configurazioni planimetriche e volumetrico-compositive dell'edificio prescelto con individuazione:

- dei dati metrici e quantitativi prescritti
- dei vincoli all'edificazione
- delle situazioni geomorfologiche dell'area di intervento
- delle correlazioni con i sistemi tecnologici esterni
- della griglia geometrica di riferimento
- degli elementi invarianti(modularità)
- del sistema funzionale
- del sistema spaziale distributivo, strutturale, impiantistico
- delle regole distributive

### **FASE 3 Lavoro di gruppo**

Si avvia con la scelta della configurazione definitiva dell'edificio e la predisposizione del progetto esecutivo architettonico.

Il progetto deve essere descritto con elaborati grafici in scala adeguata per i dettagli necessari e da una relazione tecnica illustrativa delle condizioni poste e delle scelte operate.

I contenuti degli elaborati richiesti per la descrizione del progetto (da realizzarsi secondo tecniche appropriate) sono:

- individuazione del lotto di intervento e definizione del sedime dell'edificio
- pianta del piano terra con sistemazione di dettaglio delle aree esterne
- piante dei diversi livelli
- prospetti dei fronti
- sezioni significative
- abaco degli alloggi con quote ed arredo
- studio delle cromie
- rappresentazione assonometrica
- tabella descrittiva contenente i dati metrici
- relazione descrittiva del progetto contenente le argomentazioni utili alla sua illustrazione

A supporto delle scelte di progetto deve essere svolta una ricerca sulle tecniche ed i materiali utilizzati nella realizzazione del progetto; la ricerca deve essere documentata da una raccolta di pubblicistica tecnica di supporto.

### **FASE 4 Lavoro individuale**

Scelto uno o più alloggi tra quelli definiti dal progetto, deve essere eseguita una delle verifiche inerenti:

- il livello di arredabilità
- il grado di flessibilità interna
- il grado di flessibilità esterna in collegamento con gli alloggi limitrofi
- il livello di risposta alla normativa sull'abbattimento delle barriere architettoniche

### **Gli elaborati**

Pur non imponendo una specifica modalità di rappresentazione dei lavori, si richiede di utilizzare formati e supporti codificati facilmente archiviabili.

Le modalità di rappresentazione dei diversi momenti del progetto sono ad esclusiva discrezione del redattore dello stesso; le modalità che saranno via via suggerite possono essere estese ed ampliate, a condizione che venga mantenuto il livello descrittivo e di dettaglio richiesto.

**LABORATORIO PROGETTUALE DI TECNOLOGIE EDILIZIE**

BO, cds: D

Docenti: **Elisa Franzoni** ric. (Modulo Tecnologia dei Materiali, collegato al corso di Tecnologia dei Materiali e Chimica Applicata)  
**Marco Alvise Bragadin** prof. inc. (Modulo Organizzazione del Cantiere, collegato al corso di Organizzazione del Cantiere)

Il Laboratorio fornisce all'ingegnere edile/architetto gli strumenti metodologici essenziali per un corretto utilizzo delle tecnologie edilizie, con particolare riferimento all'impiego dei materiali nelle costruzioni ed alla progettazione del cantiere.

Il Laboratorio si articola in due moduli: un primo di Tecnologia dei Materiali (I ciclo) ed un secondo di Organizzazione del Cantiere (II ciclo).

I due moduli costituiscono lo sviluppo progettuale delle tematiche affrontate rispettivamente nei corsi di Tecnologia dei Materiali e Chimica Applicata e di Organizzazione del Cantiere.

Nel modulo di Tecnologia dei Materiali gli studenti vengono guidati alla stesura di elaborati tecnici individuali a forte finalità applicativa, quali possono essere richiesti all'ingegnere edile/architetto in un qualunque Ufficio Tecnico, Studio di Progettazione, ecc.

I temi degli elaborati toccano aspetti di primaria rilevanza per un corretto impiego dei materiali nelle fasi di progettazione e costruzione del manufatto edilizio: prestazioni e criteri di scelta dei materiali, normativa, problemi di sicurezza, igiene ed ecocompatibilità nell'impiego dei materiali, esposizione ambientale e durabilità, compatibilità dei materiali per il restauro architettonico/risanamento edilizio, ecc.

Sono previsti seminari in aula, prove sui materiali in laboratorio (per gruppi a numero limitato di studenti), visite di istruzione, esercitazioni pratiche sulla ricerca bibliografica e di normativa in rete, nonché revisioni periodiche di supporto alla stesura degli elaborati stessi.

Nel modulo di Organizzazione del cantiere vengono forniti gli strumenti essenziali per pianificare, programmare e progettare il cantiere.

A partire dalla riflessione sulle componenti del progetto e dalla sua analisi, si approfondisce il tema della strumentazione per l'organizzazione e la gestione del processo produttivo in cantiere.

Il metodo di lavoro ha l'obiettivo di consentire allo studente, a partire dai capisaldi teorici e di conoscenza della pratica di cantiere forniti, di gestire la simulazione di una situazione reale, anche con l'ausilio di strumenti informatici. A tal fine i temi di lavoro saranno scelti per permettere allo studente di sperimentare metodi e strumenti proposti dal docente.

Il programma prevede sinteticamente:

1. Il riconoscimento del progetto (la WBS, il computo metrico, lo schema della produzione, le schede di procedimento)
2. L'applicazione delle tecniche reticolari (il CPM, il PDM, il PERT)
3. La progettazione del layout di cantiere.

Per ottenere l'idoneità nel Laboratorio Progettuale di Tecnologie Edilizie, occorre aver conseguito l'idoneità in entrambi i moduli. Per il rilascio dell'idoneità nel modulo di Tecnologia dei Materiali è necessaria la frequenza alle sessioni di lavoro del Laboratorio e la corretta esecuzione degli elaborati tecnici, secondo le modalità indicate dal docente. Per il rilascio dell'idoneità nel modulo di Organizzazione del Cantiere è necessaria la frequenza alle sessioni di lavoro del laboratorio, la corretta esecuzione delle prove estemporanee programmate e la valutazione positiva, a fine corso, degli elaborati prodotti.

**Riferimenti bibliografici**

- Norme Tecniche emanate dal Min. LL. PP. sui materiali da costruzione
- Norma UNI EN 206
- Regolamento Edilizio Tipo della Regione Emilia-Romagna

LACAVA M. SOLUSTRI C., *Progetto e sicurezza del cantiere*, Nis, Roma, 1996.

PICONE M., *Tecnologia Della Produzione Edilizia*, Utet, Torino, 1984.

AUTERI, U. DIBENARDO, A. PASQUA, *Il cantiere edile: programmazione, gestione e contabilità*, Roma, La nuova Italia scientifica, 1996.

R. AMATO, R. CHIAPPI, *Tecniche di project management: pianificazione e controllo dei progetti*, Milano, Angeli, 2000.

FLORES A., CONTI M., *Manuale della sicurezza nel cantiere*, Il Sole 24 Ore, Pirola, Milano, 1998.

GOTTFRIED A., TRANI M.L., *Il Coordinatore per la sicurezza nelle costruzioni in fase di progettazione ed esecuzione*, Maggioli, Rimini, 1997.

COMANI, C., *La progettazione degli edifici per l'industria*, Bordighiani, Bologna, 1981.

ZIGNOLI V., *Costruzioni edili*, Utet, Torino, 1974.

**LEGISLAZIONE DELLE OO.PP. E DELL'EDILIZIA****BO, cds: C, G\_Bo**Docente: **Alessandro Ccchi** prof. inc.

Concetto e partizione del diritto

Le fonti del diritto

Posizioni giuridiche soggettive

diritti

interessi legittimi

I beni, concetto e partizione

beni materiali e immateriali

mobili, immobili e mobili registrati

universalità di mobili e pertinenze

beni pubblici

Diritti reali

diritti reali di godimento e diritti di garanzia

proprietà

Proprietà fondiaria

disciplina di diritto privato

disciplina amministrativa (cenni e rinvio)

azioni a tutela della proprietà fondiaria

Altri diritti reali di godimento

superficie

uso, usufrutto, abitazione

enfiteusi

servitù

Modi di acquisto della proprietà

contratto

occupazione, invenzione

accessione, specificazione, unione, commistione

possessione e usucapione

**Imprenditore edile**

- imprenditore individuale, consorzi e società
- i contratti di appalto e di prestazione d'opera
- responsabilità civile
- sicurezza sul lavoro (con particolare riferimento alle attività di cantiere)
- professionisti ausiliari

**Disciplina amministrativa della attività di trasformazione del territorio**

- pianificazione urbanistica
- disciplina dell'attività edilizia
- la tutela dei beni di interesse storico e artistico
- provvedimenti ablatori
- la tutela dell'ambiente e la procedura di V.I.A.

**La P.A. come committente**

- disciplina delle opere pubbliche
- disciplina degli appalti di pubbliche forniture di beni e servizi (cenni)
- organismi di controllo
- la sicurezza negli appalti pubblici

**Testi didattici e normativi consigliati:**

**M. BERNARDINI, *Appunti sull'attività edilizia tra proprietà e impresa*, CLUEB 1999.**

**MONACO, *Testo Unico e regolamenti edilizi* (inclusa appendice normativa) Esselibri-Simone 2002.**

Codice Civile (edizione aggiornata a scelta).

D.Lgs. 490/1999 e successive modifiche ed integrazioni.

Legge 109/1994 e successive modifiche e integrazioni.

D.Lgs. 358/1992 e successive modifiche e integrazioni.

D.Lgs. 157/1995 e successive modifiche e integrazioni.

D.Lgs. 626/94 e successive modifiche e integrazioni.

D.Lgs. 494/1996 e successive modifiche e integrazioni.

**LEGISLAZIONE DELLE OO.PP. E DELL'EDILIZIA L****BO, cds: C**

Docente: **Alessandro Cocchi** prof. Inc.

Concetto e partizione del diritto (cenni)

Le fonti del diritto (cenni)

Posizioni giuridiche soggettive (cenni)

I beni, concetto e partizione

Diritti reali in genere; proprietà, superficie e servitù in particolare

Proprietà fondiaria

- modi di acquisto in genere, accessione ed usucapione in particolare

- disciplina di diritto privato

- disciplina amministrativa (cenni e rinvio)

**Imprenditore edile**

- imprenditore individuale, consorzi e società (cenni)

- i contratti di appalto e di prestazione d'opera

- responsabilità civile

- sicurezza sul lavoro (cenni)
- professionisti ausiliari
- Disciplina amministrativa della proprietà fondiaria
- pianificazione urbanistica
- disciplina dell'attività edilizia
- la tutela dei beni di interesse storico e artistico (cenni)
- provvedimenti ablatori
- la tutela dell'ambiente (cenni)
- La P.A. come committente
- disciplina delle opere pubbliche
- la sicurezza negli appalti pubblici (cenni)

*Testi didattici e normativi consigliati:*

- M. BERNARDINI, *Appunti sull'attività edilizia tra proprietà e impresa*, CLUEB 1999.
- MONACO, *Testo Unico e regolamenti edilizi* (inclusa appendice normativa) Esselibri-Simone 2002.
- Codice Civile (edizione aggiornata a scelta).
- Legge 109/1994 e successive modifiche e integrazioni.
- D.Lgs. 494/1996 e successive modifiche e integrazioni.

**LEGISLAZIONE DELLE OPERE PUBBLICHE E DELL'EDILIZIA E DIRITTO URBANISTICO**

Docente: **Maria Pia Panzera** prof. inc.

**BO, cds: D**

Atti amministrativi quali esercizio della funzione amministrativa da parte di una pubblica amministrazione.

Attività della pubblica amministrazione e contratto di appalto quale specie dei contratti amministrativi principi che presidono all'attività amministrativa.

Nozione giuridica del contratto di appalto privato e pubblico, figura dell'appaltatore-imprenditore.

Contratti di appalto pubblici: lavori, servizi, forniture. Disciplina giuridica nazionale e comunitaria.

Formazione del contratto di appalto di lavori pubblici; programmazione e progettazione dei lavori, espropriazioni, deliberazione di contrattare, modi scelta del contraente, formazione del contratto.

Esecuzione del contratto di appalto di lavori pubblici: consegna dei lavori, direzione dei lavori, variazioni e addizioni all'opera, tempo di esecuzione, sospensione, ritardo nell'esecuzione, garanzie dell'esecuzione del contratto, pagamento del prezzo, collaudo dell'opera, responsabilità dell'appaltatore dopo l'approvazione del collaudo.

Contratto di subappalto: disciplina giuridica.

Organizzazione e gestione della sicurezza nei luoghi di lavoro e sicurezza nei cantieri temporanei.

Diritto urbanistico e suoi principi, leggi di interesse urbanistico, strumenti della disciplina urbanistica e loro evoluzione, piani territoriali e politiche di sviluppo, la cultura del recupero ed i nuovi strumenti urbanistici.

Attività edilizia e sistema degli atti di controllo preventivo sulle costruzioni: concessione, autorizzazione, denuncia di inizio di attività.

**Modulo di sociologia**Docente: **Giancarlo Corsi**

Il corso intende presentare gli sviluppi più recenti della ricerca sociologica utili per lo studio della modernità e dei problemi della città. In particolare saranno trattati i seguenti temi:

- Le teorie sociologiche e lo studio della città
- La rilevanza sociale della città: mutamenti storico-evolutivi
- Modernizzazione e complessità sociale
- La società del rischio e il problema della sicurezza urbana
- Inclusione ed esclusione sociale
- Mezzi di comunicazione e tecnologie dell'informazione: opportunità e limiti nel rapporto tra città e cittadini

*Testi di riferimento:*

G. MARTINOTTI (a cura di), *La dimensione metropolitana*, il Mulino, Bologna 1999.

A. MELA, *Sociologia delle città*, La Nuova Italia, Roma 1996.

## **LEGISLAZIONE DELLE OPERE PUBBLICHE E DELL'EDILIZIA L**

CE, cds: dud

Docente: **Maria Pia Panzera** prof. inc.

Atti amministrativi quali esercizio della funzione amministrativa da parte di una pubblica amministrazione.

Attività della pubblica amministrazione e contratto di appalto quale specie dei contratti amministrativi principi che presidono all'attività amministrativa.

Nozione giuridica del contratto di appalto privato e pubblico, figura dell'appaltatore-imprenditore.

Contratti di appalto pubblici: lavori, servizi, forniture. Disciplina giuridica nazionale e comunitaria.

Formazione del contratto di appalto di lavori pubblici; programmazione e progettazione dei lavori, espropriazioni, deliberazione di contrattare, modi scelta del contraente, formazione del contratto.

Esecuzione del contratto di appalto di lavori pubblici: consegna dei lavori, direzione dei lavori, variazioni e addizioni all'opera, tempo di esecuzione, sospensione, ritardo nell'esecuzione, garanzie dell'esecuzione del contratto, pagamento del prezzo, collaudo dell'opera, responsabilità dell'appaltatore dopo l'approvazione del collaudo.

Contratto di subappalto: disciplina giuridica.

Organizzazione e gestione della sicurezza nei luoghi di lavoro e sicurezza nei cantieri temporanei.

Attività edilizia e sistema degli atti di controllo preventivo sulle costruzioni: concessione, autorizzazione, denuncia di inizio di attività.

Beni pubblici: beni demaniali e patrimoniali e loro regime giuridico.

**LINGUAGGI E MODELLI COMPUTAZIONALI LS****BO, cds: I**Docente: **Enrico Denti ric.***Scopo dell'Insegnamento*

- Fornire una descrizione ragionata sui concetti essenziali dei linguaggi di programmazione, correlandoli ai diversi modelli computazionali alla base dei diversi linguaggi e al problema del loro riconoscimento.
- Analizzare l'impatto dei diversi linguaggi e modelli sulla produzione del software.

*Programma*

Descrizione formale e implementazione dei linguaggi: grammatiche formali e loro proprietà, classificazione di Chomsky. Relazione fra grammatiche e automi riconoscitori. Analisi lessicale e tecniche di analisi sintattica top-down e bottom-up per linguaggi regolari e context-free. Cenni sulla descrizione formale della semantica. Organizzazione e costruzione di interpreti e compilatori e relativi supporti a tempo di esecuzione: architettura ed esempi concreti in Java. Strumenti semi-automatici per la generazione di analizzatori lessicali e sintattici.

Introduzione agli stili di programmazione non imperativi: cenni al linguaggio Prolog come possibile caso di esempio di analisi lessicale, sintattica, e di costruzione di interpreti e compilatori in stile non imperativo. Grammatiche e linguaggi basati su XML e loro interpretazione via XSLT.

*Esame*

La prova d'esame consiste nello sviluppo e nella discussione di un progetto preventivamente concordato con il docente.

*Bibliografia*

Sono disponibili sul sito Web del corso dispense e appunti a cura del docente nelle quali è anche riportato un elenco di testi utili. Sono inoltre disponibili dispense in forma ipertestuale che trattano, in forma seminariale, argomenti specifici approfondibili dallo studente nell'ambito dei progetti mirati.

**LINGUAGGI E TRADUTTORI (C.I.)****BO, cds: L, I**Docenti: **Antonio Natali prof. ord.****Enrico Denti ric.***Scopo dell'Insegnamento*

- Fornire una descrizione ragionata sui concetti essenziali dei linguaggi di programmazione e analizzarne l'impatto sulla moderna produzione del software, con particolare riferimento alla costruzione di interpreti e compilatori.
- Illustrare i concetti di fondo dei diversi modelli computazionali alla base dei linguaggi di programmazione

*Programma del I° modulo*

Concetti fondamentali dei linguaggi di programmazione. Famiglie di linguaggi imperativi, funzionali, logici e a oggetti. Introduzione alla progettazione del software: componenti software,

tipi di dato astratto, relazione fra concetti, metodologie e linguaggi. Introduzione alla programmazione ad oggetti e al linguaggio Java: componenti software, tipi di dato astratto, classi e istanze, meccanismi di costruzione-distruzione di istanze. Oggetti composti, ereditarietà semplice e multipla, polimorfismo e genericità. Classi astratte, interfacce. Eccezioni. Stream di I/O. Elementi di base per la costruzione di interfacce grafiche: concetto di evento e programmazione event-driven.

### **Programma del II° modulo**

Descrizione formale e implementazione dei linguaggi: grammatiche formali e loro proprietà, classificazione di Chomsky. Relazione fra grammatiche e automi riconoscitori. Analisi lessicale e tecniche di analisi sintattica top-down e bottom-up per linguaggi regolari e context-free. Cenni sulla descrizione formale della semantica. Organizzazione e costruzione di interpreti e compilatori e relativi supporti a tempo di esecuzione: architettura ed esempi concreti in Java. Strumenti semi-automatici per la generazione di analizzatori lessicali e sintattici.

Introduzione agli stili di programmazione non imperativi: cenni al linguaggio Prolog come possibile caso di esempio di analisi lessicale, sintattica, e di costruzione di interpreti e compilatori in stile non imperativo. Grammatiche e linguaggi basati su XML e loro interpretazione via XSLT.

### *Esame*

La prova d'esame è integrata per i due moduli e consiste nello sviluppo e nella discussione di un progetto preventivamente concordato con il docente.

### *Bibliografia*

Sono disponibili sul sito Web del corso dispense e appunti a cura del docente nelle quali è anche riportato un elenco di testi utili. Sono inoltre disponibili dispense in forma ipertestuale che trattano, in forma seminariale, argomenti specifici approfondibili dallo studente nell'ambito dei progetti mirati.

## **LOCALIZZAZIONE DEI SISTEMI ENERGETICI I e II**

**BO, cds: N**

Docente: **Paolo Vestrucci** ric.

L'Insegnamento si propone di fornire agli studenti gli elementi conoscitivi e le metodologie di base per affrontare il complesso tema della localizzazione dei sistemi per la produzione di energia elettrica. Particolare attenzione viene dedicata alla trattazione degli effetti sanitari ed ambientali dovuti agli inquinanti prodotti nella combustione dei combustibili fossili, alla radioattività naturale e ai radionuclidi artificiali prodotti nelle centrali nucleari.

### *Programma*

I sistemi energetici ed il loro inserimento nel quadro dei bilanci energetici globali; analisi di un bilancio energetico: fonti primarie e consumi finali; risorse e riserve di energia; fonti energetiche impiegate per la produzione elettrica. Il ciclo del combustibile per i principali combustibili usati nella produzione di energia elettrica.

Combustibili nucleari e produzione di radionuclidi; radioattività naturale ed artificiale; potassio-40; famiglie di U-238, U-235 e Th-232; equilibrio secolare; effetti sanitari dovuti alla radio-



attività naturale; problemi connessi alla presenza di radon negli ambienti chiusi.

Produzione di radionuclidi artificiali nei reattori nucleari a fissione e a fusione; trasmutazioni inerenti agli attinidi; prodotti di fissione; catene di decadimento; natura chimica e nucleare dei prodotti di fissione; calcolo dell'accumulo dei prodotti di fissione a corta vita e a lunga vita con formule approssimate; sistemi adottati nei reattori nucleari per il contenimento della radioattività.

Combustibili fossili; cenno alla composizione chimica dei combustibili fossili a sua correlazione col potere inquinante; la combustione dei combustibili fossili: aspetti termodinamici e cinetici; produzione di inquinanti nella combustione.

La combustione nei motori a scoppio; condizioni di combustione nei motori a benzina e nei motori diesel; carburanti usati nei due tipi di motori; evoluzione della composizione dei carburanti. Normative. Metodi impiegati per ridurre il potere inquinante degli autoveicoli.

Impatto sanitario ed ambientale delle centrali elettriche: calore sensibile dei fumi e calore a bassa temperatura scaricato in grandi corpi idrici o tramite torri di raffreddamento; flussi di materia e di calore per una centrale termoelettrica; sistemi di abbattimento degli inquinanti adottati nelle centrali a olio combustibile e a carbone; abbattimento delle polveri, della  $SO_2$  e degli altri inquinanti. Criteri fondamentali per lo studio dell'impatto ambientale dei sistemi energetici; concetto di rischio sanitario ed ambientale: percezione e accettabilità del rischio; analisi rischi-benefici; criteri di protezione sanitaria ed ambientale; criterio ALARA; valutazione dei rischi nella produzione di energia; criteri generali di protezione sanitaria ed ambientale; la valutazione di impatto ambientale per i sistemi di produzione di energia: metodologie di approccio con particolare riferimento ai problemi posti dalle centrali nucleari e dagli altri sistemi per la produzione di energia elettrica; normativa e procedure adottate per la localizzazione delle centrali elettriche.

#### Testi consigliati:

K. BRUZZI, G. CICOGNANI, G. DOMINICI, *Il ciclo del combustibile dei reattori nucleari*, ristampa della seconda edizione 1981, Ed. Pitagora, 1992.

WORLD ENERGY CONFERENCE, *Environmental effects arising from electricity supply and utilisation and the resultant cost to the utility*, Report, 1988.

P.A. VESILIND, J.J. PEIRCE, R.F. WEINER, *Environmental Engineering*, second edition, 1988, Butterworths.

## LOGISTICA INDUSTRIALE

Docente: Arrigo Pareschi prof. ord.

BO, cds: Q, G\_Bo, M

### Finalità del corso

Questo corso tratta la gestione integrata del ciclo operativo dell'azienda, industriale o del terziario, attraverso le sue principali funzioni di gestione dei materiali (approvvigionamento delle materie prime e dei componenti), della produzione (progettazione prodotto, programmazione, fabbricazione, assemblaggio, controllo) e della distribuzione fisica dei prodotti finiti (movimentazione, stoccaggio, trasporto, imballo, ricezione e spedizione).

L'obiettivo è quello di fornire i criteri generali e i metodi quantitativi che presiedono alla scelta, alla progettazione e alla gestione di sistemi logistici, integrati e flessibili, capaci di realizzare l'integrazione dei flussi fisici e dei flussi informativi per garantire un elevato livello qualitativo dei prodotti e del servizio ai clienti, la riduzione del tempo di risposta e il contenimento dei costi di produzione, e di far fronte con adeguata flessibilità al cambiamento continuo della gamma produttiva, conseguente alla variabilità e alla personalizzazione delle richieste del consumatore.

**Programma del corso****GENERALITÀ**

- Definizione della funzione logistica
- Caratteristica del mercato odierno e ruolo della logistica
- Principali classificazioni e richiami sugli impianti industriali

**L'EVOLUZIONE DEI SISTEMI PRODUTTIVI**

- Il concetto di integrazione del sistema di produzione
- Computer Integrated Manufacturing - CIM

**IL BINOMIO PRODOTTO-IMBALLO E LE SCELTE LOGISTICHE**

- Innovazione e studio di prodotto
- Il sistema prodotto-imballo
- Le funzioni e le principali tipologie di imballaggio
- Il pallet e la gestione EUR-EPAL
- Il problema dei rifiuti da imballaggio

**I SISTEMI FLESSIBILI DI FABBRICAZIONE - FMS**

- Il concetto di Group Technology
- I sistemi flessibili di fabbricazione (FMS) e i principali elementi costitutivi
- La progettazione di un sistema FMS

**I SISTEMI AUTOMATICI FLESSIBILI DI ASSEMBLAGGIO**

- Generalità sull'assemblaggio automatico
- Concetti di Design for Assembling
- Elementi costitutivi di una linea flessibile di assemblaggio (FAS)
- Progettazione di una linea flessibile di assemblaggio automatico (FAS)

**SISTEMI TRADIZIONALI DI TRASPORTO**

- Carrelli elevatori (transpallet, frontali, retrattili, bilateri, trilateri)
- Trasportatori rigidi (a rulli, a tapparelle, aerei, pneumatici)

**SISTEMI FLESSIBILI DI TRASPORTO A GUIDA AUTOMATICA - AGV**

- Caratteristiche e controllo computerizzato dei sistemi AGV
- Principali sistemi di guida
- Criteri di progettazione di un sistema di trasporto flessibile con carrelli AGV

**SISTEMI MANUALI DI IMMAGAZZINAMENTO E STOCCAGGIO**

- La funzione dei magazzini, indici caratteristici
- Modalità di immagazzinamento e tipologie di magazzini
- Criteri di progettazione di un magazzino (giacenza e "attraversamento")
- Automazione del flusso informativo nei sistemi di stoccaggio

**MAGAZZINI INTENSIVI AUTOMATIZZATI**

- Magazzini serviti da trasloelevatori
- Metodi per la valutazione dei tempi di ciclo del trasloelevatore

**ELEMENTI DI LOGISTICA DISTRIBUTIVA**

- Flussi delle attività nella logistica distributiva

La modalità di trasporto come fattore competitivo  
 Intermodalità di trasporto  
 Scenari evolutivi del trasporto merci e della logistica

#### IL FLUSSO INFORMATIVO DI PRODUZIONE NELLA LOGISTICA INTEGRATA

La gestione del flusso informativo di produzione  
 Il processo di programmazione e controllo  
 La pianificazione dei fabbisogni dei materiali  
 I sistemi a fabbisogno: Material Requirement Planning - MRP e il Just in Time - JIT  
 I sistemi a scorta: modelli a quantità di riordino fissa e a tempo di riordino fisso

#### STRUMENTI AVANZATI PER LO STUDIO E LA PROGETTAZIONE DEI SISTEMI LOGISTICI

La teoria delle code  
 La simulazione numerica  
 La simulazione Monte Carlo

#### LA MANUTENZIONE E LA LOGISTICA DEI RICAMBI NEI SISTEMI PRODUTTIVI

La funzione manutenzione nell'ottica aziendale  
 La manutenzione migliorativa  
 Richiami di teoria dell'affidabilità  
 Il sistema informativo di manutenzione  
 La gestione dei ricambi  
 La Total Productive Maintenance - TPM

Esame: scritto e orale

#### Testo consigliato

A. PARESCHI, E. FERRARI, A. PERSONA, A. REGATTIERI, *Logistica Integrata e Flessibile*, Ed. Esculapio, 2002

#### Altri testi di consultazione:

- PARESCHI A., *Impianti industriali*, Progetto Leonardo, Società Editrice Esculapio, Bologna, 1994.  
 LAMBERT D, STOCK J., *Strategic Logistics Management*, McGraw-Hill, 2001.  
 LOUIS R., *Integrating Kanban With MRP II: Automating a Pull System for Enhanced Jit Inventory Management*, Productivity Press, Portland, 2001.  
 BOARIO M., DE MARTINI M., DI MEO E., GROS-PIETRO G.M., *Manuale di Logistica*, UTET, Torino, 1992, Voll. 1-2-3.  
 GRANDO A., *Logistica e produzione*, UTET, Milano, 1996.  
 MONTE A., *Elementi di impianti industriali*, ed. Libreria Cortina, Torino, 1982.  
 CARON F., MARCHET G., WEGNER R., *Impianti di movimentazione e stoccaggio dei materiali - criteri di progettazione*, Hoepli, 1997.  
 TURCO F., *Principi generali di progettazione degli impianti industriali*, C.L.U.P., Milano, 1978.  
 HERAGU S., *Facilities Design*, Ed. PWS, Boston, 1997.  
 BRANDOLESE A., POZZETTI A., SIANESI A., *Gestione della produzione industriale*, Hoepli, Milano, 1991.  
 DEL MAR D., *Operations and industrial management*, McGraw-Hill, 1985.

- TERSINE R.J., *Production/operations management*, North Holland, New York, 1985.  
 MORTIMER J., *Logistics in manufacturing*, Ed. IFS Ltd, UK/Springer Verlag, 1988.  
 FERROZZI C., SHAPIRO R.D., HESKETT J.L., *Logistica e strategia*, 1-2, ISEDI, 1993, Torino.  
 BOWERSOX D.J., *Logistica, strategia e integrazione in azienda*, Tecniche Nuove, 1989, Milano.  
 HOLLIER R.H., *Automated guided vehicle systems*, IFS Ltd., Bedford (UK), 1987.  
 HALL R., *Obiettivo: scorte zero*, Ed. ISEDI, Milano 1986.  
 MONDEN Y., *Produzione Just-in-time*, Ed. ISEDI, Milano, 1986.

## MACCHINE L

BO, cds: R (N.O.)

## MACCHINE

BO, cds: R (V.O.)

Docente: **Giovanni Naldi** prof. ass.

1. **Fabbisogno mondiale di energia, fonti primarie e secondarie, rinnovabili e non rinnovabili.** Bilanci energetico globale e dell'energia elettrica nazionali. Diagrammi di carico giornalieri, potenza di punta, media e installata. Potere calorifico dei combustibili e sua determinazione in via sperimentale ed approssimata. Calorimetro di Junkers e Bomba di Mahler. Massa e volume d'aria per la combustione teorica, combustione reale, diagramma di Ostwald.
2. **Richiami di termodinamica:** Gas perfetti e ideali. Diagrammi termodinamici T,s (entropico) e h,s (Mollier). Trasformazioni sui piani T,s e h,s. Equazioni di bilancio energetico per il sistema aperto in forma termica e meccanica.
3. **Cicli degli impianti a vapore:** Ciclo di Carnot. Ciclo Hirn: Influenza della pressione di caldaia e della pressione di condensazione, del surriscaldamento e del risurriscaldamento, sul rendimento del ciclo. Cicli di Carnot equivalenti, temperatura media di somministrazione del calore. Scelta della pressione e della temperatura ottimali di risurriscaldamento. Impianto con uno o più spillamenti. Preriscaldatori a miscela e a superficie.
4. **Generatori di vapore:** Determinazione della temperatura di combustione. Rendimento del generatore di vapore per via diretta ed indiretta. Influenza dell'eccesso d'aria e del carico sul rendimento del generatore di vapore. Rugiada acida. Evoluzione dell'architettura dei generatori di vapore. Caldaia ad irraggiamento. Carico termico volumetrico. Estrazione di calore dai fumi. Preriscaldamento dell'acqua e dell'aria. Diagrammi di scambio.
5. **Cogenerazione:** Definizione dei parametri principali per la caratterizzazione di un impianto cogenerativo (indice di utilizzazione del combustibile, rendimento elettrico convenzionale, indice di risparmio di combustibile primario (UNI 8887). Impianto cogenerativo con turbina a vapore a contropressione. Impianto cogenerativo con turbina a vapore a condensazione - derivazione. Diagramma di funzionamento ai carichi parziali.
6. **Cicli degli impianti di turbina a gas.** Rendimenti isoentropico e politropico. Ciclo di Brayton. Cicli per turbina a gas complessi con doppia compressione e con doppia espansione. Cicli rigenerativi: valutazione del calore recuperabile e del rendimento. Architettura di gruppi turbogas, cenni sul raffreddamento delle pale.
7. **Gruppi combinati gas-vapore:** Diagrammi entropico e di scambio. Efficienza di recupero. Diagramma di Sankey e rendimento. Influenza delle caratteristiche dei cicli componenti sul rendimento totale del ciclo combinato. Cicli combinati con sezione a vapore a spillamenti e con più livelli di pressione.
8. **Condensatore:** Architettura e bilanci elementari.
9. **Cicli termodinamici operatori:** Cicli delle macchine per la produzione del freddo. Caratteristiche dei fluidi frigoriferi: Proprietà termofisiche, di sicurezza e impatto ambientale. Cicli frigoriferi a doppia compressione e a due temperature di vaporizzazione.

- 10. Macchine volumetriche operatrici:** Compressore volumetrico alternativo, diagrammi di indicatore ideale e reale. Rendimento volumetrico apparente e di carica. Pompe volumetriche alternative e rotative. Pompe oleodinamiche.
- 11. Turbine a vapore:** Equazioni del moto per un osservatore mobile. Equazioni di Eulero ed alle energie cinetiche. Efflusso del vapore. Grandezze di ristagno. Equazione di Hugoniot. Ugello di De Laval. Turbina a vapore ad azione semplice, Limiti al salto entalpico sfruttabile. Architettura di varie tipologie di turbine a vapore. Turbina Curtis a salti di velocità. Turbina a salti di pressione, fattore di recupero. Tenute a labirinto. Turbina a reazione. Grado di reazione. Lavoro specifico e rendimento dello stadio di turbina a reazione. Limiti della turbina a reazione: Portata in volume all'ingresso. Turbina mista. Problemi allo scarico delle turbine a reazione. Macchine a più corpi, a doppio flusso. Equilibramento delle spinte assiali. Cenni sulla regolazione per parzializzazione e per strozzamento.
- 12. Macchine idrauliche operatrici a fluido incompressibile.** Pompa centrifuga: Architettura della macchina. Studio elementare del flusso secondo la teoria monodimensionale. Determinazione del punto di funzionamento della pompa in relazione alle caratteristiche dell'impianto. Curve caratteristiche. Leggi di trasposizione. Cenni alle normative di collaudo. Problemi di installazione: Adescamento e cavitazione. NPSH limite e d'impianto. Determinazione sperimentale della curva di NPSH limite. Ventilatori.
- 13. Macchine idrauliche motrici:** Turbina Pelton: Architettura e dimensionamento di massima. Limitazione al rapporto  $d/D$ . Macchine poli-getto. Turbina Francis: Architettura. Grado di reazione. Velocità periferica di massimo rendimento. Utilizzazione del tubo diffusore allo scarico delle turbine a reazione. Dipendenza dell'architettura delle turbine idrauliche a reazione dall'indice caratteristico. Turbina ad elica. Triangoli di velocità. Comportamento in regolazione, turbina Kaplan.
- 14. Motori a combustione interna alternativi:** definizioni, principi di funzionamento. Analisi termodinamica dei cicli per i M.C.I. ad accensione comandata e per compressione. Cicli Beau de Rochas (Otto), Diesel e Sabathè. Diagrammi di indicatore ideale limite e reale. Potenza e rendimento per via termica. Parametri caratteristici per il dimensionamento dei M.C.I.: pressione media indicata ed effettiva, velocità media del pistone, rapporto corsa/diametro. Architettura dei motori a combustione interna, motori policilindrici. Motori a due tempi ad accensione comandata. Prestazioni dei motori a combustione interna: Curve caratteristiche di coppia, potenza e consumo specifico a piena ammissione ed in regolazione. Emissioni di inquinanti dai M.C.I. e metodi per il loro contenimento.

#### Testi consigliati:

- CANTORE G., *Macchine*, Progetto Leonardo, 1995 BO, 3a ed. 1999.
- CORNETTI G., *Macchine idrauliche*, Il Capitello, TO, 1989, 2a ed. 1991, rist. 1994.
- CORNETTI G., *Macchine termiche*, Il Capitello, TO, 1989, rist. 1994.
- FERRARI G., *Motori a combustione interna*, il Capitello, Torino, 1992.
- LOZZA G., *Turbine a gas e cicli combinati*, Progetto Leonardo - Bologna.
- MINELLI G., *Macchine idrauliche*, Pitagora, BO, s.d..
- MINELLI G., *Motori endotermici alternativi*, Pitagora, BO, s.d..
- MORANDI G., *Macchine ed apparecchiature a vapore e frigorifere*, Pitagora, BO.
- NEGRI DI MONTENEGRO G., MORO D., NALDI G., *Corso di macchine - 1 Sistemi e componenti termici*, Pitagora, BO, 1992, nuova ed. 1998.
- NEGRI DI MONTENEGRO G., NALDI G., PERETTO A., *Corso di macchine - 2 Macchine volumetriche Trasmissioni meccaniche*, Pitagora, BO, 1993.
- SANDROLINI S., BORGHI M., NALDI G., *Turbomacchine Termiche - Turbine*, Pitagora, BO, 1992.

SANDROLINI S., NALDI G., *Macchine 1: Fluidodinamica e termodinamica delle turbomacchine*, Pitagora BO, 1996.

SANDROLINI S., NALDI G., *Macchine 2: Le turbomacchine motrici e operatrici*, Pitagora BO, 1997.

*Modalità di svolgimento dell'esame:* Discussione orale sugli argomenti indicati nel programma.

## MACCHINE

BO, cds: C, G\_BO

Docente: **Giuseppe Cantore** prof. ord.

Richiami di termodinamica, i cicli termodinamici.

Le equazioni energetiche del moto dei fluidi.

Sistemi di conversione dell'energia con cicli a vapore; le centrali termoelettriche a vapore di tipologia ENEL.

Sistemi di conversione dell'energia con cicli a gas: le turbine a gas.

Sistemi di conversione dell'energia a ciclo combinato gas-vapore.

La cogenerazione. Applicazioni per usi civili ed industriali.

La combustione nelle caldaie, bilanci termici; architettura di alcuni tipi di caldaie per grossi impianti; problematiche di scambio termico.

Le turbine a vapore: cenni sulle principali macchine per impianti termoelettrici.

Le pompe centrifughe: disegno della macchina; la prevalenza; la potenza assorbita.

Problematiche di adescamento e di cavitazione. L'indice NPSH. Le curve caratteristiche; diagrammi collinari. Interazione pompa circuito. La teoria della similitudine idraulica.

Le pompe volumetriche: alternative e rotative (pompe a palette ed ad ingranaggi).

Diagrammi di funzionamento, prestazioni, rendimenti.

Motori endotermici alternativi. Architettura. Diagrammi di indicatore; diagramma delle fasi.

Lavori, potenze, rendimenti, consumi specifici. Curve caratteristiche. Prestazioni. La detonazione. La carburazione: il carburatore, iniezione meccanica ed iniezione elettronica. Emissioni inquinanti gassose; tecniche di contenimento: i catalizzatori trivalenti, la sonda lambda.

Compressori alternativi: diagrammi di indicatore, prestazioni e rendimenti.

*Testi consigliati:*

G. CANTORE, *Macchine*, Esculapio, Bologna.

*L'esame* consiste in una prova orale su argomenti svolti nel corso delle lezioni.

## MACCHINE

BO, cds: Q

Docente: **Piero Pelloni** prof. ord.

1. Gruppi a vapore

Generalità. Schema di un impianto a vapore a condensazione: descrizione dei componenti (condensatore, turbomacchine, scambiatori a superficie ed a miscela), funzionamento e diagrammi.

ni termodinamici  $T, s$  ed  $h, s$ . Bilanci energetici dei cicli termodinamici a vapore. Influenza della pressione di condensazione, della pressione di vaporizzazione, del surriscaldamento e del risurriscaldamento sul rendimento del ciclo a vapore. I cicli a vapore surriscaldato ed a vapore risurriscaldato. I cicli rigenerativi: il grado di rigenerazione, condizione di massimo beneficio termodinamico, valutazioni energetiche, lay-out dell'impianto. Espressione del rendimento nel caso di n spillamenti.

## 2. Turbine a gas

Generalità. Ciclo di Brayton: lay-out dell'impianto, rapporto di compressione, ciclo termodinamico. Rendimento del gruppo, lavoro specifico del compressore e della turbina, lavoro specifico utile. Cicli a gas rigenerativi. Cicli a gas con compressione frazionata: scelta della pressione intermedia. Cicli complessi. Cenni sulla regolazione dei gruppi turbogas: i gruppi bialbero.

## 3. Gruppi combinati gas-vapore

Considerazioni generali. Rendimento. Diagramma di scambio termico della caldaia a recupero, gruppi combinati con post-combustione.

## 4. Gruppi cogenerativi

Generalità. Impianti a vapore in contropressione ed a derivazione. Indice elettrico ed indice termico.

## 5. I generatori di vapore

Determinazione del rendimento per via diretta ed indiretta. La temperatura di combustione. Cenni sullo scambio termico: la temperatura di parete dai tubi, diagramma di scambio termico del generatore. Evoluzione dei generatori di vapore. La caldaia ad irraggiamento: disegno ed architettura, disposizione dei fasci tubieri scambiatori.

## 6. Turbomacchine motrici a fluido comprimibile: le turbine a vapore

Le equazioni energetiche di Eulero per macchine motrici. L'efflusso del vapore: numero di Mach, velocità critica, pressione critica, dimensionamento dei condotti. Ugelli convergenti. Ugelli convergenti-divergenti. Rendimento del distributore e della girante. La deviazione della vena. Limiti alla velocità periferica e massimo salto entalpico utilizzabile per stadio. Turbina ad azione semplice: disegno della macchina, triangoli di velocità, condizione di massimo rendimento e limiti di impiego. Le turbine a salti di velocità ed a salti di pressione: disegno della macchina, triangoli di velocità, rendimenti. Il fattore di recupero nella turbina a salti di pressione. Turbine a reazione: schema della macchina, triangoli di velocità, condizione di massimo rendimento, cenni ai limiti della portata in volume all'ingresso ed allo scarico. Cenni sulle turbine miste.

## 7. Turbomacchine operatrici a fluido incomprimibile: le pompe centrifughe

Schema della macchina. Le equazioni di Eulero per macchine operatrici. Triangoli di velocità. Pale rivolte in avanti e pale rivolte all'indietro. Prevalenza, potenza, rendimenti e perdite fluidodinamiche. Curva caratteristica e diagramma collinare. L'adescamento. La cavitazione: generalità e definizione dell'NPSHlim di una pompa. Pompe multicellulari (cenni).

## 8. Macchine idrauliche

Turbina Pelton. Turbina Francis. Turbina Kaplan.

## 9. Macchine volumetriche operatrici a fluido comprimibile

Compressori alternativi: schema della macchina, funzionamento, diagrammi di indicatore

(p,V) ideale e reale, rendimento volumetrico, rendimento di carica; velocità media del pistone. La compressione frazionata interrefrigerata. Compressori volumetrici rotativi a lobi, a palette e a viti.

#### 10. Motori endotermici alternativi

Generalità ed architettura. I cicli tennodinamici Otto, Diesel e Sabathè. Valutazione del rendimento termodinamico. Diagramma di indicatore (p,V) reale e diagramma di indicatore ideale dei cicli Otto, Diesel e Sabathè. Rendimento di indicatore. Valutazione della potenza per via termica: la tonalità termica, il rendimento volumetrico. Pressione media effettiva ed indicata, velocità media del pistone, rapporto corsa-diametro. Curve di coppia e di potenza. Regolazione nei motori Diesel ed a benzina. La dosatura. L'anticipo dell'accensione. La combustione. La detonazione nei motori ad accensione comandata. Il carburatore. I sistemi di iniezione: motori diesel e motori ad accensione comandata. Considerazioni sul frazionamento della cilindrata. Controllo delle emissioni inquinanti allo scarico.

#### 11. Cicli frigoriferi

Generalità. Schema dell'impianto e diagrammi termodinamici. Coefficiente di effetto utile. Gruppi frigoriferi con compressione frazionata interrefrigerata.

#### Testi consigliati

- G. CANTORE, *Macchine*, Progetto Leonardo.  
 G. MINELLI, *Motori a combustione interna*, Pitagora.  
 G. MINELLI, *Macchine idrauliche*, Pitagora.

Esame, orale.

### MACCHINE

Docente: **Giovanni Naldi** prof. ass.

**BO, cds: duamb**

1. Fabbisogno mondiale di energia, fonti primarie e secondarie, rinnovabili e non rinnovabili. Bilanci energetico globale e dell'energia elettrica nazionali. Diagrammi di carico giornalieri, potenza di punta, media e installata. Potere calorifico dei combustibili e sua determinazione in via sperimentale ed approssimata. Calorimetro di Junkers e Bomba di Mahler. Massa e volume d'aria per la combustione teorica, combustione reale, diagramma di Ostwald.
2. **Richiami di termodinamica:** Gas perfetti e ideali. Diagrammi termodinamici T,s (entropico) e h,s (Mollier). Trasformazioni sui piani T,s e h,s. Equazioni di bilancio energetico per il sistema aperto in forma termica e meccanica.
3. **Cicli degli impianti a vapore:** Ciclo di Carnot. Ciclo Hirn: Influenza della pressione di caldaia e della pressione di condensazione, del surriscaldamento e del surriscaldamento, sul rendimento del ciclo. Cicli di Carnot equivalenti, temperatura media di somministrazione del calore. Scelta della pressione e della temperatura ottimali di surriscaldamento. Impianto con uno o più spillamenti. Preriscaldatori a miscela e a superficie.
4. **Generatori di vapore:** Determinazione della temperatura di combustione. Rendimento del generatore di vapore per via diretta ed indiretta. Influenza dell'eccesso d'aria e del carico sul rendimento del generatore di vapore. Rugiada acida. Evoluzione dell'architettura dei generatori di vapore. Caldaia ad irraggiamento. Carico termico volumetrico. Estrazione di calore dai fumi. Preriscaldamento dell'acqua e dell'aria. Diagrammi di scambio.



5. **Cogenerazione:** Definizione dei parametri principali per la caratterizzazione di un impianto cogenerativo (indice di utilizzazione dei combustibile, rendimento elettrico convenzionale, indice di risparmio di combustibile primario (UNI 8887). Impianto cogenerativo con turbina a vapore a contropressione. Impianto cogenerativo con turbina a vapore a condensazione - derivazione. Diagramma di funzionamento ai carichi parziali.
6. **Cicli degli impianti di turbina a gas.** Rendimenti isoentropico e politropico. Ciclo di Brayton. Cicli per turbina a gas complessi con doppia compressione e con doppia espansione. Cicli rigenerativi: valutazione del calore recuperabile e del rendimento. Architettura di gruppi turbogas, cenni sul raffreddamento delle pale.
7. **Gruppi combinati gas-vapore:** Diagrammi entropico e di scambio. Efficienza di recupero. Diagramma di Sankey e rendimento. Influenza delle caratteristiche dei cicli componenti sul rendimento totale del ciclo combinato. Cicli combinati con sezione a vapore a spillamenti e con più livelli di pressione.
8. **Condensatore:** Architettura e bilanci elementari.
9. **Cicli termodinamici operatori:** Cicli delle macchine per la produzione del freddo. Caratteristiche dei fluidi frigoriferi: Proprietà termofisiche, di sicurezza e impatto ambientale. Cicli frigoriferi a doppia compressione e a due temperature di vaporizzazione.
10. **Macchine volumetriche operatrici:** Compressore volumetrico alternativo, diagrammi di indicatore ideale e reale. Rendimento volumetrico apparente e di carica. Pompe volumetriche alternative e rotative. Pompe oleodinamiche.
11. **Turbine a vapore:** Equazioni del moto per un osservatore mobile. Equazioni di Eulero ed alle energie cinetiche. Efflusso del vapore. Grandezze di ristagno. Equazione di Hugoniot. Ugello di De Laval. Turbina a vapore ad azione semplice, Limiti al salto entalpico sfruttabile. Architettura di varie tipologie di turbine a vapore. Turbina Curtis a salti di velocità. Turbina a salti di pressione, fattore di recupero. Tenute a labirinto. Turbina a reazione. Grado di reazione. Lavoro specifico e rendimento dello stadio di turbina a reazione. Limiti della turbina a reazione: Portata in volume all'ingresso. Turbina mista. Problemi allo scarico delle turbine a reazione. Macchine a più corpi, a doppio flusso. Equilibramento delle spinte assiali. Cenni sulla regolazione per parzializzazione e per strozzamento.
12. **Macchine idrauliche operatrici a fluido incompressibile.** Pompa centrifuga: Architettura della macchina. Studio elementare del flusso secondo la teoria monodimensionale. Determinazione del punto di funzionamento della pompa in relazione alle caratteristiche dell'impianto. Curve caratteristiche. Leggi di trasposizione. Cenni alle normative di collaudo. Problemi di installazione: Adescamento e cavitazione. NPSH limite e d'impianto. Determinazione sperimentale della curva di NPSH limite. Ventilatori.
13. **Macchine idrauliche motrici:** Turbina Pelton: Architettura e dimensionamento di massima. Limitazione al rapporto  $d/D$ . Macchine poli-getto. Turbina Francis: Architettura. Grado di reazione. Velocità periferica di massimo rendimento. Utilizzazione del tubo diffusore allo scarico delle turbine a reazione. Dipendenza dell'architettura delle turbine idrauliche a reazione dall'indice caratteristico. Turbina ad elica. Triangoli di velocità. Comportamento in regolazione, turbina Kaplan.
14. **Motori a combustione interna alternativi:** definizioni, principi di funzionamento. Analisi termodinamica dei cicli per i M.C.I. ad accensione comandata e per compressione. Cicli Beau de Rochas (Otto), Diesel e Sabathè. Diagrammi di indicatore ideale limite e reale. Potenza e rendimento per via termica. Parametri caratteristici per il dimensionamento dei M.C.I.: pressione media indicata ed effettiva, velocità media del pistone, rapporto corsa/diametro. Architettura dei motori a combustione interna, motori policilindrici. Motori a due tempi ad accensione comandata. Prestazioni dei motori a combustione interna: Curve caratteristiche di coppia, potenza e consumo specifico a piena ammissione ed in regolazione. Emissioni di inquinanti dai M.C.I. e metodi per il loro contenimento.

**Testi consigliati:**

- CANTORE G., *Macchine*, Progetto Leonardo, 1995 BO, 3<sup>a</sup> ed. 1999.  
 CORNETTI G., *Macchine idrauliche*, Il Capitello, TO, 1989, 2<sup>a</sup> ed. 1991, rist. 1994.  
 CORNETTI G., *Macchine termiche*, Il Capitello, TO, 1989, rist. 1994.  
 FERRARI G., *Motori a combustione interna*, il Capitello, Torino.  
 LOZZA G., *Turbine a gas e cicli combinati*, Progetto Leonardo - Bologna.  
 MINELLI G., *Macchine idrauliche*, Pitagora, BO, s.d..  
 MINELLI G., *Motori endotermici alternativi*, Pitagora, BO, s.d..  
 MORANDI G., *Macchine ed apparecchiature a vapore e frigorifere*, Pitagora, BO.  
 NEGRI DI MONTENEGRO G., MORO D., NALDI G., *Corso di macchine - 1 Sistemi e componenti termici*, Pitagora, BO, 1992, nuova ed. 1998.  
 NEGRI DI MONTENEGRO G., NALDI G., PERETTO A., *Corso di macchine - 2 Macchine volumetriche Trasmissioni meccaniche*, Pitagora, BO, 1993.  
 SANDROLINI S., BORGHI M., NALDI G., *Turbomacchine Termiche - Turbine*, Pitagora, BO, 1992.  
 SANDROLINI S., NALDI G., *Macchine 1: Fluidodinamica e termodinamica delle turbomacchine*, Pitagora BO, 1996.  
 SANDROLINI S., NALDI G., *Macchine 2: Le turbomacchine motrici e operatrici*, Pitagora BO, 1997.

**Modalità di svolgimento dell'esame:** Discussione orale sugli argomenti indicati nel programma.

**MACCHINE ELETTRICHE L****BO, cds: E**

**Docenti:** Giovanni Serra prof. straord.

Il corso si propone di fornire i fondamenti del funzionamento delle macchine elettriche e le loro caratteristiche in relazione alle diverse modalità di impiego.

**Programma**

Richiami sulle leggi dell'elettromagnetismo e sulle principali proprietà dei materiali conduttori, dielettrici e ferromagnetici impiegati nella realizzazione delle macchine elettriche. Fenomeni termici nelle macchine elettriche. Cenni sulle normative di riferimento.

**Trasformatori**

Forma e realizzazione dei circuiti magnetici e degli avvolgimenti. Definizioni relative ai flussi dispersi. Circuito elettrico equivalente, perdite nel ferro, saturazione del nucleo magnetico. Funzionamento in regime sinusoidale, diagramma vettoriale. Funzionamento a carico, potenza nominale e rendimento. Variazione di tensione da vuoto a carico. Prove a vuoto ed in corto circuito, determinazione dei parametri caratteristici. Funzionamento in parallelo, determinazione delle condizioni ideali ed analisi in condizioni reali.

Trasformatore trifase, circuiti magnetici, tipo di collegamento degli avvolgimenti primari e secondari, gruppo di appartenenza. Funzionamento in regime sinusoidale simmetrico ed equilibrato. Cenni sul funzionamento con carichi squilibrati. Funzionamento in parallelo di due o più trasformatori.

Cenni sui trasformatori di misura.

**Macchine rotanti**

Generalità. Distribuzione del campo magnetico al traferro. Il campo magnetico rotante. Cal-

colo della forza elettromotrice indotta. Avvolgimenti, fattore d'avvolgimento.

Macchina asincrona, principio di funzionamento. Equazioni del circuito magnetico. Funzionamento in regime sinusoidale, a vuoto ed a carico. Circuito equivalente. Bilanci energetici, rendimento. Diagrammi vettoriali. Espressione della coppia, coppia massima, stabilità. Prove sulla macchina. Cenni sugli effetti dei campi armonici di ordine superiore. Coppie di impuntamento. Macchine asincrone con rotore a gabbia di scoiattolo. Avviamento e regolazione della velocità. Cenni sul motore asincrono monofase.

Macchina sincrona, tipi di struttura, principio di funzionamento. Macchina a rotore isotropo, funzionamento a vuoto ed a carico in regime sinusoidale. Il diagramma di Behn-Eschemburg, diagramma di Potier. Macchina a poli salienti, reazione d'armatura in linearità magnetica, reattanze sincrone lungo gli assi longitudinale e trasversale. Diagramma di Arnold-Blondel. Coppia elettromagnetica, limiti di stabilità in regime statico e dinamico, oscillazioni pendolari, avvolgimenti smorzatori. Funzionamento di un generatore sincrono in parallelo a rete di potenza infinita. Macchine a magneti permanenti.

Macchina a corrente continua. Generalità, struttura e nomenclatura. L'indotto a tamburo, spazzole e collettore. Cenni sugli avvolgimenti per macchine a corrente continua. Il funzionamento a vuoto. Il funzionamento a carico e la reazione d'armatura. Poli ausiliari e avvolgimenti compensatori. Equazioni della macchina in regime dinamico e stazionario. Coppia elettromagnetica. La commutazione nel caso ideale e la commutazione reale. Connessioni del circuito di eccitazione. Caratteristiche esterne dei generatori, regolazione della tensione, eccitazione compound. Caratteristiche meccaniche dei motori. Reversibilità del funzionamento delle macchine.

#### *Bibliografia obbligatoria*

- B. BRUNELLI, *Conversione elettrica ed elettromeccanica dell'energia*, Pitagora, Bologna.  
 E. DI PIERRO, *Costruzioni Elettromeccaniche (Vol. I e II)*. Edizioni Scientifiche Siderea, Roma.  
 A. E. FITZGERALD, C. KINGSLEY, A. KUSKO, *Macchine Elettriche*, Franco Angeli.  
 M. KOSTENKO, L. PIOTROVSKY, *Electrical Machines (Vol. I e II)*, MIR Publishers, Moscow.  
 P. L. ALGER, *The nature of poliphase induction machines*, John Wiley, New York, Chapman & Hall, London.

#### **MACCHINE I**

**BO, cds: M**

Docente: **Piero Pelloni** prof. ord.

L'Insegnamento tratta le fonti di energia termica e convenzionale, combustibili solidi, liquidi e gassosi, la combustione ed i generatori di vapore convenzionali, utilizzanti le dette fonti di energia. Vengono anche richiamate le fonti di energia ed i generatori di vapori nucleari.

Richiamati i bilanci energetici, le trasformazioni termiche e gli scambi di energia, viene poi svolta la trattazione delle macchine motrici a vapore, alternative ed a turbina, e dei relativi circuiti termici ed impianti.

Vengono poi discussi i fluidi frigoriferi e trattati gli impianti frigoriferi a compressione di gas e di vapori, la liquefazione dei gas permanenti e loro applicazioni.

Di ogni macchina ed impianto viene svolta la teoria generale e vengono trattati il funzionamento, il dimensionamento ed i limiti di impiego, tecnici ed economici.

L'insegnamento viene completato da esempi ed esercizi numerici.

Necessarie premesse dell'insegnamento, oltre le nozioni matematiche di base, sono: la Fisica (meccanica e termodinamica), la Meccanica applicata alle macchine e la Fisica tecnica.

**Testo consigliato:**

G. NEGRI DI MONTENEGRO, M. BIANCHI, A. PERETTO, *Sistemi energetici e loro componenti*, ed. Pitagora.

**MACCHINE LS**

FO, cds: cIm

Docente: **Pier Ruggero Spina** prof. ass.

**Finalità del corso**

Il corso intende fornire metodologie di base per affrontare la progettazione termofluidodinamica delle turbomacchine a fluido incomprimibile e comprimibile.

**Argomenti sviluppati**

1) Definizione di turbomacchina; analisi dimensionale e teoria della similitudine; classificazione delle turbomacchine; correlazioni statistiche per il dimensionamento esterno delle turbomacchine.

2) Equazioni del flusso stazionario unidimensionale comprimibile di un gas perfetto in un condotto; flusso isentropico in un condotto di area variabile.

3) Macchine motrici a fluido comprimibile: lo stadio di turbina assiale, la trasformazione termodinamica, espressione degli angoli di flusso in funzione del grado di reazione e dei coefficienti di lavoro e di portata, criteri di scelta del grado di reazione e dei coefficienti di lavoro e di portata. Funzionamento in condizioni fuori progetto dello stadio di turbina, accoppiamento tra gli stadi, la turbina multistadio, prestazioni globali della turbina. Il raffreddamento delle pale.

4) Macchine operatrici a fluido comprimibile: lo stadio di compressore assiale, la trasformazione termodinamica, funzionamento in condizioni fuori progetto dello stadio di compressore, accoppiamento aerodinamico tra gli stadi, prestazioni globali del compressore assiale multistadio. Il pompaggio e lo stallo rotante.

5) Aerodinamica dei profili: cenni. Prestazioni dei profili posti in schiera: valutazione dell'effetto schiera, determinazione della geometria delle schiere.

6) Accoppiamento compressore turbina. La regolazione dei turbogas.

7) Teoria monodimensionale delle macchine a fluido incomprimibile; procedure per il progetto di macchine a flusso radiale; valutazione dell'influenza del numero finito di pale; tracciamento del profilo pale con i metodi punto a punto e della rappresentazione conforme. Dimensionamento della voluta.

**Esame:** orale

**Testi consigliati**

BETTOCCHI R. - *Turbomacchine* - Pitagora Ed., Bologna, 1986.

BETTOCCHI, R., SPINA, P.R., - *Propulsione aeronautica con turbogas* (Appunti tratti dalle lezioni di Propulsione Aerospaziale II) - 2a Edizione - Pitagora Ed., Bologna, 2002.

**Testi di consultazione**

ACTON O. - *Turbomacchine* - UTET, 1986.

ACTON O., CAPUTO C. - *Introduzione allo studio delle macchine* - UTET, 1979

- COHEN H., ROGERS G.F.C., SARAVANAMUTTOO H.I.H. - *Gas Turbine Theory* - 5th Ed. - Prentice Hall, 2001.
- CSANADY G.T. - *Theory of Turbomachines* - McGraw Hill, 1964.
- CUMPSTY N.A. - *Compressor Aerodynamics* - Longman, 1990.
- DIXON S.D. - *Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery* - Pergamon Press, 1978.
- HILL P.G., PETERSON C.R. - *Mechanics and Thermodynamics of Propulsion* - Addison Wesley, 1992.
- HORLOCK J.H. - *Axial Flow Compressors* - Butterworths, 1958.
- HORLOCK J.H. - *Axial Flow Turbines* - Butterworths, 1966.
- LAZARKIEWICZ S., TROSKOLANSKI A.T. - *Impeller Pumps* - Pergamon Press, 1965.
- OSNAGHI G. - *Macchine fluidodinamiche* - CLUP, Milano, 1979.
- PFELEIDERER C., PETERMAN H. - *Turbomacchine* - Tecniche Nuove, 1985
- SANDROLINI S., BORGHINI M., NALDI, G. - *Turbomacchine termiche. Turbine* - Pitagora, 1992.
- SANDROLINI S., NALDI G. - *Macchine 1. Fluidodinamica e termodinamica delle turbomacchine* - Pitagora, 1997.
- SANDROLINI S., NALDI G. - *Macchine 2. Le turbomacchine motrici e operatrici* - Pitagora, 1998.
- VENTRONE G. - *Le turbomacchine* - Libreria Cortina, Padova, 1975.

## MACCHINE II

BO, cds: M

Docente: **Giorgio Minelli** prof. ord

Oggetto dell'Insegnamento è lo studio dei motori alternativi a combustione interna e delle macchine idrauliche motrici ed operatrici.

Vengono fornite le conoscenze atte alla comprensione dei fenomeni che reggono il funzionamento delle macchine in esame, rendendo possibile l'interpretazione e la previsione delle caratteristiche funzionali, consentendone inoltre un ragionato dimensionamento.

### Motori alternativi a combustione interna

1) Ad accensione comandata: studio della combustione e conseguenze sul proporzionamento della macchina e sulle sue prestazioni. I sistemi di iniezione diretta ed indiretta - per la preparazione della miscela. Modelli per la gestione del controllo. Gli inquinanti allo scarico ed i più aggiornati procedimenti per il loro procedimento

2) ad accensione per compressione: studio della combustione e conseguenze sul proporzionamento della macchina e sulle sue prestazioni. I sistemi di iniezione a bassa, media ed altissima pressione. I problemi peculiari di inquinamento e le linee di intervento possibili.

Peculiarità dei due tempi. La sovralimentazione. Limiti delle prestazioni.

Il passaggio dai moto alternativi a quelli turbogas, nella propulsione aeronautica.

### Macchine idrauliche

Le turbine idrauliche nel contesto del più generale problema delle conversioni d'energia. Studio teorico e criteri di proporzionamento delle turbine idrauliche (ad azione ed a reazione). Le curve caratteristiche. La similitudine nelle macchine idrauliche. I problemi di cavitazione. Le miturbine e le macchine reversibili.

Le pompe centrifughe: studio teorico e criteri di proporzionamento. Le caratteristiche funzionali e di problemi operativi di esercizio. Le pompe volumetriche.

L'esame è costituito da una prova orale.

Propedeuticità consigliate: Fisica tecnica, Idraulica, Macchine.

**Testi consigliati:**

G. MINELLI, *Motori endotermici alternativi*, Pitagora.

G. MINELLI, *Macchine idrauliche*, Pitagora.

G. FERRARI, *Motori a combustione interna*, Il Capitello.

J.B. HEYWOOD, *Internal combustion engine fundamentals*, McGraw Hill.

**MACCHINE II**

BO, cds: C

Docente: **Giovanni Naldi** prof. ass.

Fabbisogno mondiale di energia, fonti primarie e secondarie, rinnovabili e non rinnovabili. Sfruttamento dell'energia solare, mediante concentrazione e metodo di conversione fotovoltaica. Sfruttamento dell'energia da maree e dal moto ondoso. Energia eolica.

Combustibili e combustione. Trattamento dei fumi nelle centrali termoelettriche. Cenni sulle tecnologie alternative per l'abbattimento degli inquinanti. Circolazione dei fumi, dimensioni del camino.

Caratteristiche di centrali idroelettriche di potenza. Minimizzazione del costo dell'energia prodotta per un impianto ad acqua fluente.

Turbomacchine: Richiami di fluidodinamica. Classificazione delle macchine idrauliche.

Cenni storici sull'evoluzione delle turbine. Turbina Peltron: Macchine poli-getto. Turbina Francis. Evoluzione dei profili e della forma del canale meridiano di turbine a reazione in funzione dell'indice caratteristico. Turbina ad elica, e Kaplan.

Diagrammi caratteristici delle turbine idrauliche in coordinate dimensionali e ridotte, comportamento in regolazione.

Introduzione ai modelli geometrici per la definizione delle superfici palari.

Richiami di fluidodinamica bidimensionale. Flussi irrotazionali in condotti assial-simmetrici non palettati. Determinazione del campo di moto in una turbomacchina mediante il potenziale di velocità.

Studio del flusso assiale-simmetrico nelle turbomacchine mediante la funzione di Corrente di Stokes. Metodo grafico per la determinazione simultanea delle linee di corrente ed equipotenziali.

Tracciamento delle pale di una turbina Francis mediante trasformazione conforme.

Equazioni generali per lo studio del flusso in una turbomacchina.

Teoria aerodinamica nella progettazione delle turbomacchine. CL profili in schiera.

Correzione della teoria del flusso monodimensionale con i risultati della teoria bidimensionale.

Esempio di progettazione di una turbomacchina assiale operatrice a fluido incompressibile.

Cenni sulla risoluzione del flusso mediante la tecnica degli elementi finiti in condotti palettati.

Impianto di prova per modelli di turbine idrauliche a reazione. Rilievo ed elaborazione dei dati sperimentali, relativi ad una microturbina idraulica ad elica. Sonde tridimensionali di pressione a cinque fori.

Tubo diffusore allo scarico delle turbine a reazione. Cavitazione.

**Testi consigliati:**

G. MORANDI, *Macchine ed apparecchiature a vapore e frigorifere*, Pitagora, Bologna, 2<sup>a</sup> ed., 1974.

- G. NEGRI DI MONTENEGRO, D. MORO, G. NALDI, *Corso di macchine - I Sistemi e componenti termici*, Pitagora, Bologna, 1992.
- S. SANDROLINI, M. BORGHI, G. NALDI, *Turbomacchine Termiche - Turbine*, Pitagora, Bologna, 1992.
- S. SANDROLINI, G. NALDI, *Macchine - I Fluidodinamica e termodinamica delle turbomacchine*, Pitagora, Bologna, 1996.
- S. SANDROLINI, G. NALDI, *macchine - 2 Le Turbomacchine motrici e operatrici*, Pitagora, Bologna, 1997.

## MACCHINE L

FO, cds: cla

Docente: Giovanni Naldi prof. ass.

1. Fabbisogno mondiale di energia, fonti primarie e secondarie, rinnovabili e non rinnovabili. Bilanci energetico globale e dell'energia elettrica nazionali. Diagrammi di carico giornalieri, potenza di punta, media e installata. Potere calorifico dei combustibili e sua determinazione in via sperimentale ed approssimata. Calorimetro di Junkers e Bomba di Mahler. Massa e volume d'aria per la combustione teorica, combustione reale, diagramma di Ostwald.
2. **Richiami di termodinamica:** Gas perfetti e ideali. Diagrammi termodinamici  $T,s$  (entropico) e  $h,s$  (Mollier). Trasformazioni sui piani  $T,s$  e  $h,s$ . Equazioni di bilancio energetico per il sistema aperto in forma termica e meccanica.
3. **Cicli degli impianti a vapore:** Ciclo di Carnot. Ciclo Hirn: Influenza della pressione di caldaia e della pressione di condensazione, del surriscaldamento e del risurriscaldamento, sul rendimento del ciclo. Cicli di Carnot equivalenti, temperatura media di somministrazione del calore. Scelta della pressione e della temperatura ottimali di risurriscaldamento. Impianto con uno o più spillamenti. Preriscaldatori a miscela e a superficie.
4. **Generatori di vapore:** Determinazione della temperatura di combustione. Rendimento del generatore di vapore per via diretta ed indiretta. Influenza dell'eccesso d'aria e del carico sul rendimento del generatore di vapore. Rugiada acida. Evoluzione dell'architettura dei generatori di vapore. Caldaia ad irraggiamento. Carico termico volumetrico. Estrazione di calore dai fumi. Preriscaldamento dell'acqua e dell'aria. Diagrammi di scambio.
5. **Cogenerazione:** Definizione dei parametri principali per la caratterizzazione di un impianto cogenerativo (indice di utilizzazione dei combustibili, rendimento elettrico convenzionale, indice di risparmio di combustibile primario (UNI 8887). Impianto cogenerativo con turbina a vapore a contropressione. Impianto cogenerativo con turbina a vapore a condensazione - derivazione. Diagramma di funzionamento ai carichi parziali.
6. **Cicli degli impianti di turbina a gas.** Rendimenti isoentropico e politropico. Ciclo di Brayton. Cicli per turbina a gas complessi con doppia compressione e con doppia espansione. Cicli rigenerativi: valutazione del calore recuperabile e del rendimento. Architettura di gruppi turbogas, cenni sul raffreddamento delle pale.
7. **Gruppi combinati gas-vapore:** Diagrammi entropico e di scambio. Efficienza di recupero. Diagramma di Sankey e rendimento. Influenza delle caratteristiche dei cicli componenti sul rendimento totale del ciclo combinato. Cicli combinati con sezione a vapore a spillamenti e con più livelli di pressione.
8. **Condensatore:** Architettura e bilanci elementari.
9. **Cicli termodinamici operatori:** Cicli delle macchine per la produzione del freddo. Caratteristiche dei fluidi frigoriferi: Proprietà termofisiche, di sicurezza e impatto ambientale. Cicli frigoriferi a doppia compressione e a due temperature di vaporizzazione.

10. **Macchine volumetriche operatrici:** Compressore volumetrico alternativo, diagrammi di indicatore ideale e reale. Rendimento volumetrico apparente e di carica. Pompe volumetriche alternative e rotative. Pompe oleodinamiche.
11. **Turbine a vapore:** Equazioni del moto per un osservatore mobile. Equazioni di Eulero ed alle energie cinetiche. Efflusso del vapore. Grandezze di ristagno. Equazione di Hugoniot. Ugello di De Laval. Turbina a vapore ad azione semplice, Limiti al salto entalpico sfruttabile. Architettura di varie tipologie di turbine a vapore. Turbina Curtis a salti di velocità. Turbina a salti di pressione, fattore di recupero. Tenute a labirinto. Turbina a reazione. Grado di reazione. Lavoro specifico e rendimento dello stadio di turbina a reazione. Limiti della turbina a reazione: Portata in volume all'ingresso. Turbina mista. Problemi allo scarico delle turbine a reazione. Macchine a più corpi, a doppio flusso. Equilibramento delle spinte assiali. Cenni sulla regolazione per parzializzazione e per strozzamento.
12. **Macchine idrauliche operatrici a fluido incompressibile.** Pompa centrifuga: Architettura della macchina. Studio elementare del flusso secondo la teoria monodimensionale. Determinazione del punto di funzionamento della pompa in relazione alle caratteristiche dell'impianto. Curve caratteristiche. Leggi di trasposizione. Cenni alle normative di collaudo. Problemi di installazione: Adescamento e cavitazione. NPSH limite e d'impianto. Determinazione sperimentale della curva di NPSH limite. Ventilatori.
13. **Macchine idrauliche motrici:** Turbina Pelton: Architettura e dimensionamento di massima. Limitazione al rapporto  $d/D$ . Macchine poli-getto. Turbina Francis: Architettura. Grado di reazione. Velocità periferica di massimo rendimento. Utilizzazione del tubo diffusore allo scarico delle turbine a reazione. Dipendenza dell'architettura delle turbine idrauliche a reazione dall'indice caratteristico. Turbina ad elica. Triangoli di velocità. Comportamento in regolazione, turbina Kaplan.
14. **Motori a combustione interna alternativi:** definizioni, principi di funzionamento. Analisi termodinamica dei cicli per i M.C.I. ad accensione comandata e per compressione. Cicli Beau de Rochas (Otto), Diesel e Sabathè. Diagrammi di indicatore ideale limite e reale. Potenza e rendimento per via termica. Parametri caratteristici per il dimensionamento dei M.C.I.: pressione media indicata ed effettiva, velocità media del pistone, rapporto corsa/diametro. Architettura dei motori a combustione interna, motori policilindrici. Motori a due tempi ad accensione comandata. Prestazioni dei motori a combustione interna: Curve caratteristiche di coppia, potenza e consumo specifico a piena ammissione ed in regolazione. Emissioni di inquinanti dai M.C.I. e metodi per il loro contenimento.

#### *Testi consigliati:*

- CANTORE G., *Macchine*, Progetto Leonardo, 1995 BO, 3ª ed. 1999.
- CORNETTI G., *Macchine idrauliche*, Il Capitello, TO, 1989, 2ª ed. 1991, rist. 1994.
- CORNETTI G., *Macchine termiche*, Il Capitello, TO, 1989, rist. 1994.
- FERRARI G., *Motori a combustione interna*, il Capitello, Torino.
- LOZZA G., *Turbine a gas e cicli combinati*, Progetto Leonardo - Bologna.
- MINELLI G., *Macchine idrauliche*, Pitagora, BO, s.d..
- MINELLI G., *Motori endotermici alternativi*, Pitagora, BO, s.d..
- MORANDI G., *Macchine ed apparecchiature a vapore e frigorifere*, Pitagora, BO.
- NEGRI DI MONTENEGRO G., MORO D., NALDI G., *Corso di macchine - 1 Sistemi e componenti termici*, Pitagora, BO, 1992, nuova ed. 1998.
- NEGRI DI MONTENEGRO G., NALDI G., PERETTO A., *Corso di macchine - 2 Macchine volumetriche Trasmissioni meccaniche*, Pitagora, BO, 1993.
- SANDROLINI S., BORGHI M., NALDI G., *Turbomacchine Termiche - Turbine*, Pitagora, BO, 1992.



SANDROLINI S., NALDI G., *Macchine 1: Fluidodinamica e termodinamica delle turbomacchine*, Pitagora BO, 1996.

SANDROLINI S., NALDI G., *Macchine 2: Le turbomacchine motrici e operatrici*, Pitagora BO, 1997.

*Modalità di svolgimento dell'esame:* Discussione orale sugli argomenti indicati nel programma.

## MACCHINE L

BO, cds: E

Docente: Antonio Peretto prof. straord.

### Sistemi Energetici

- Equazione generale del moto dei fluidi in forma meccanica e termica.
- Diagramma T, s. Trasformazioni di compressione ed espansione. Rendimenti interno e politropico per una compressione ed espansione. Rendimento isentropico in funzione del rapporto di compressione e del rendimento politropico.
- Gruppo turbogas a ciclo di Brayton. Espressione analitica del lavoro ottenuto, del calore fornito e del rendimento termodinamico. Andamento di questi tre parametri in funzione del rapporto di compressione del ciclo. Schema impiantistico di un gruppo turbogas a ciclo di Brayton. Equazioni che regolano il funzionamento di un gruppo turbogas.
- Potere calorifico inferiore e superiore. Combustione. Aria teorica e reale. Eccesso d'aria. Ruggine acida. Normal metro cubo.
- Scambiatori di calore in equicorrente, controcorrente a correnti incrociate e compatti. Efficienza. Diagramma T, q. Metodo del DT medio logaritmico.
- Impianti a vapore. Schema di impianto a tre spillamenti. Diagramma T, s e di Mollier per l'acqua. Equazioni che regolano il funzionamento di un impianto a vapore.
- Impianti a ciclo combinato gas-vapore a due livelli di pressione. Schema di impianto. Diagramma T, s. Espressione analitica del rendimento di conversione. Diagramma di scambio termico in caldaia a recupero. Equazioni che regolano il funzionamento di un gruppo combinato.
- Impianti cogenerativi. Schema e diagramma  $Q_t$ ,  $P_e$  di impianto cogenerativo con TG a recupero semplice. Strategie di gestione. Schema e principio di funzionamento di un impianto a vapore in contropressione e in derivazione. Grandezze di uso comune negli impianti cogenerativi.
- Generatori di vapore. Rendimento per via diretta e indiretta. Temperatura di parete. Carico termico. Caldaia a irraggiamento: schema costruttivo.
- Il condensatore. Schema, principio di funzionamento ed equazioni fondamentali.

### Turbomacchine

- Equazione di Eulero - Triangoli di velocità.
- Compressore Centrifugo, schema e valutazione della prevalenza teorica e reale.

### Macchine volumetriche

- Compressori volumetrici. Schema. Diagramma p, v teorico e reale. Rendimento di carica in funzione del rapporto delle pressioni.

Esame: Orale

*Testi adottati*

*Sistemi Energetici e loro componenti*, G. NEGRI DI MONTENEGRO, M. BIANCHI A. PERETTO, Ed Pitagora.

**MACCHINE L**

BO, cds: G\_Bo

Docente: **Antonio Peretto** prof. straord.- **Introduzione e richiami:**

Classificazione delle macchine a fluido. Le fonti di energia: combustibili fossili e fonti rinnovabili. La produzione e il consumo energetico in Italia. I cicli termodinamici: rendimento di un ciclo di Carnot. Le trasformazioni termodinamiche. Le equazioni generalizzate del moto dei fluidi in forma termica e meccanica. L'equazione di Bernoulli. Diagrammi termodinamici: T-s, h-s e p-v. Uso delle tabelle per l'acqua. L'espansione nelle turbine e la compressione nei compressori: caso ideale, reale, rendimento interno, rendimento meccanico. La potenza. Unità di misura.

- **Sistemi a vapore con ciclo a condensazione:**

Generalità, schema di un impianto a vapore a condensazione: descrizione e funzionamento dei componenti principali (caldaia, turbina, condensatore, scambiatori a superficie e a miscela, pompe), diagramma termodinamico T-s. Il ciclo Rankine: schema dell'impianto, diagramma entropico e bilanci energetici. Il ciclo Hirn: schema dell'impianto, diagramma entropico e bilanci energetici. Il ciclo con surriscaldamento: schema dell'impianto, diagramma entropico e bilanci energetici. Influenza delle pressioni di vaporizzazione, condensazione e surriscaldamento sul lavoro specifico e sul rendimento dei cicli a vapore. Calcolo della portata di raffreddamento in un condensatore e limiti sulla pressione di condensazione. I cicli rigenerativi: grado di rigenerazione, condizione di massimo beneficio termodinamico, schema dell'impianto a uno e a tre spillamenti e relativo diagramma entropico, bilanci energetici e di massa nei punti caratteristici dell'impianto, valutazione del rendimento nel caso di uno o più spillamenti, calcolo della portata di spillamento. Schema del circuito termico dell'impianto a 7 spillamenti di una centrale elettrica Enel (Porto Tolle).

- **Gruppi turbogas:**

Generalità, campi di impiego, schema d'impianto e descrizione dei componenti principali (turbina, camera di combustione e compressore). La combustione: reazioni principali, i combustibili, il potere calorifico, l'aria teorica, l'aria reale, l'eccesso d'aria. Gruppi turbogas a ciclo Brayton: schema dell'impianto, diagramma entropico, bilanci energetici (calore introdotto, lavoro utile, rendimento, potenza utile e consumo di combustibile) e condizione di autosufficienza. Limiti della temperatura di ingresso turbina. Influenza del rapporto di compressione sul lavoro specifico e sul rendimento: il rapporto di compressione di massimo rendimento e di massimo lavoro (cenni). Il consumo specifico, lavoro specifico e il costo del kWh. Gruppi turbogas con recupero di calore: schema dell'impianto, diagramma entropico, bilanci energetici (calore introdotto, lavoro utile, rendimento, potenza utile e consumo di combustibile). La regolazione dei gruppi turbogas: il gruppo turbogas bialbero. La propulsione aeronautica: cenni. La compressione interrefrigerata nei gruppi turbogas e cenni sulla postcombustione.

- **Gruppi combinati gas-vapore:**

Generalità, schema d'impianto e descrizione dei componenti principali (caldaia a recupero). Ciclo combinato a un livello di pressione: schema dell'impianto, diagramma entropico, bilan-

ci energetici, diagramma di scambio termico, l'efficienza di scambio termico, l'influenza della pressione di vaporizzazione sul rendimento. Cenni sulla post-combustione. I cicli combinati con due livelli di pressione: schema d'impianto, il diagramma di scambio termico. Confronto energetico ed economico fra gli impianti a vapore e i cicli combinati, esempio numerico.

- **La cogenerazione:**

Generalità. La cogenerazione con impianti a vapore con turbina a contropressione ed a derivazione: schemi degli impianti, diagrammi entropici, bilanci energetici ed indici caratteristici. La cogenerazione con turbine a gas: schema dell'impianto, il campo operativo, la post-combustione, regolazione per la produzione di energia termica variabile. I cicli combinati nella cogenerazione: due livelli di pressione. Indici cogenerativi, IRE, Ien.

- **Le turbomacchine operatrici a fluido incomprimibile:**

Equazioni del moto dei fluidi per condotti mobili. Il lavoro attraverso le equazioni di Eulero e delle differenze di energie cinetiche. Teorema della variazione della quantità di moto. Le pompe centrifughe: schema della macchina, l'equilibramento delle spinte assiali, le equazioni di Eulero, i triangoli di velocità, pale in avanti, radiali e indietro, concetto di prevalenza, il lavoro idraulico, la potenza effettiva, il rendimento idraulico e meccanico. La teoria della similitudine idraulica, cenni. La curva caratteristica teorica e reale, la prevalenza a portata nulla. Curve caratteristiche a numero di giri variabile. L'innesco e la cavitazione delle pompe: NPSH dell'impianto e la determinazione sperimentale dell'NPSH limite della pompa. Punto di funzionamento di una pompa inserita in un circuito con serbatoi a livello fisso e variabile. Diverse tipologie di pompe. Pompe in serie e in parallelo.

- **Motori endotermici alternativi:**

Architettura e parametri caratteristici (corsa, cilindrata, ecc.), fasi del ciclo, analisi termodinamica dei cicli Otto: rendimento termodinamico e suo legame con il rapporto di compressione; confronto tra ciclo Otto e ciclo Diesel. Diagramma indicatore ideale e reale per il ciclo Otto e Diesel: lavoro indicato ideale e reale. Il lavoro effettivo. La tonalità termica, il rendimento volumetrico e di combustione, la coppia all'albero. Potenza per via termica. Diagramma polare delle fasi: anticipi e ritardi delle valvole di aspirazione e scarico e anticipo all'accensione. Pressione media indicata ed effettiva, velocità media del pistone, rendimento totale e consumo specifico. Regolazione di un motore a benzina e diesel. La combustione nei motori ad accensione comandata: il fenomeno della detonazione. Frazionamento della cilindrata. Iniezione nei motori ad accensione comandata: l'iniettore, schema logico e funzionale, iniezione Bosch elettronica. Schema a blocchi del sistema controllo motore. Emissioni inquinanti allo scarico dei sistemi di produzione di potenza. Meccanismi di formazione degli inquinanti in un motore ad accensione comandata: influenza della fasatura, dosatura e anticipo. Tecniche di abbattimento delle emissioni: catalizzatore trivalente e sonda lambda.

*Testi adottati*

*Sistemi Energetici e loro componenti*, G. NEGRI DI MONTENEGRO, M. BIANCHI A. PERETTO, Ed. Pitagora

**MACCHINE L**Docente: **Pier Ruggero Spina** prof. ass.**FO, cds: dum, cim****Finalità del corso**

Oggetto del corso è lo studio delle macchine a fluido, con particolare riferimento alle macchine operatrici e motrici a fluido incomprimibile e comprimibile e ai motori alternativi a combustione interna.

**Argomenti sviluppati**

- 1) Equazioni del moto dei fluidi.
- 2) Le pompe dinamiche. Architettura della pompa centrifuga, prestazioni, cenni sulla teoria della similitudine, caratteristica teorica e reale. L'adescamento, la cavitazione, definizione di NPSH richiesto e disponibile, determinazione dell'altezza massima di aspirazione. Determinazione del punto di funzionamento. La caratteristica di pompe in serie e in parallelo. La pompa multicellulare. La pompa a flusso assiale: architettura, caratteristiche e triangoli di velocità.
- 3) Le pompe volumetriche. Definizione di cilindrata, portata teorica e reale, caratteristica teorica e reale. Valutazione della potenza. Architetture di pompe volumetriche rotative e alternative.
- 4) I ventilatori: architetture, caratteristiche di funzionamento, variazioni delle prestazioni con la densità del fluido elaborato.
- 5) Equazioni del flusso stazionario unidimensionale isentropico di un gas perfetto in un condotto di area variabile.
- 6) I compressori dinamici. Lo stadio di compressore assiale: triangoli di velocità, trasformazione termodinamica, triangoli di velocità, espressione del lavoro, legame coefficiente di carico-coefficiente di portata. Il compressore assiale pluristadio: architettura, caratteristica reale. Valutazione della potenza. Il compressore centrifugo: architettura, trasformazione termodinamica, triangoli di velocità, espressione del lavoro. Confronto tra lo stadio di compressore assiale e centrifugo.
- 7) I compressori volumetrici. Architetture di compressori volumetrici rotativi e alternativi. Diagrammi di indicatore, definizione di rendimento volumetrico. Regolazione dei compressori volumetrici. Valutazione della potenza.
- 8) Macchine motrici a fluido comprimibile. Lo stadio di turbina assiale: trasformazione termodinamica, espressione del lavoro, triangoli di velocità, definizione di coefficiente di carico e di grado di reazione. Stadio con velocità allo scarico assiale, stadio ad azione, stadio a reazione con grado di reazione 0.5 La turbina pluristadio: architetture, prestazioni.
- 9) Macchine motrici a fluido incomprimibile. Le turbine Pelton, Francis, ad elica e Kaplan: architetture, moto del fluido, prestazioni.
- 10) Motori alternativi a combustione interna. Cicli termodinamici teorici Otto, Diesel e Sabathè. Confronti. Diagrammi di indicatore ideali e reali. Valutazione della potenza: definizione di tonalità termica, pressione media indicata e pressione media effettiva. Frazionamento della cilindrata. Motori ad accensione comandata: le architetture, i sistemi di alimentazione, la combustione, la detonazione, la regolazione, le prestazioni. Motori ad accensione per compressione: le architetture, i sistemi di alimentazione, la combustione, la regolazione, le prestazioni. Le emissioni inquinanti e le tecniche per il loro contenimento.

**Esame:** orale**Propedeuticità consigliate:** Fisica Tecnica L

**Testi consigliati**

CANTORE G. - *Macchine* - Progetto Leonardo (Ed. Esculapio), 1996.

MINELLI G. - *Macchine idrauliche* - Pitagora.

MINELLI G. - *Motori endotermici alternativi* - Pitagora.

**Testi di consultazione**

BETTOCCHI, R., SPINA, P.R., - *Propulsione aeronautica con turbogas* (Appunti tratti dalle lezioni di Propulsione Aerospaziale II) - 2a Edizione - Pitagora Ed., Bologna, 2002.

COHEN H., ROGERS G.F.C., SARAVANAMUTTOO H.I.H. - *Gas Turbine Theory* - 5th Ed. - Prentice Hall, 2001.

CORNETTI, G. - *Macchine idrauliche* - Vol. 1, Ed. Il Capitello.

CORNETTI, G. - *Macchine termiche* - Vol. 2, Ed. Il Capitello.

CUMPTSY N.A. - *Compressor Aerodynamics* - Longman, 1990.

HILL P.G., PETERSON C.R. - *Mechanics and Thermodynamics of Propulsion* - Addison Wesley, 1992.

HORLOCK J.H. - *Axial Flow Compressors* - Butterworths, 1958.

HORLOCK J.H. - *Axial Flow Turbines* - Butterworths, 1966.

SANDROLINI S., NALDI G. - *Macchine 1. Fluidodinamica e termodinamica delle turbomacchine* - Pitagora, 1997.

SANDROLINI S., NALDI G. - *Macchine 2. Le turbomacchine motrici e operatrici* - Pitagora, 1998.

**MACCHINE UTENSILI****BO, cds: M**

Docente: **Luca Tomesani** prof. ass.

**Generalità**

Lo scopo del corso consiste nella conoscenza della tecnologia dei processi di fabbricazione per asportazione di truciolo, delle macchine tradizionali e a controllo numerico, nella capacità di organizzare semplici sequenze di produzione in grado di rispettare i vincoli imposti dal disegno costruttivo. Non è richiesta la propedeuticità dell'esame di Tecnologia Meccanica, ma la conoscenza di taluni argomenti fondamentali è fortemente consigliata.

**Programma**

1. **FONDAMENTI DEL TAGLIO** Meccanica della formazione del truciolo. Tipi di truciolo. Meccanica del taglio obliquo. Forze di taglio, tensioni e potenza

richiesta. Teoria di Merchant. Temperature nel taglio. Usura e cedimento degli utensili. Finitura superficiale e integrità della superficie lavorata. Lavorabilità.

2. **MATERIALI DA UTENSILE E FLUIDI DA TAGLIO** Acciai al carbonio e medio legati. Acciai superrapidi. Leghe al cobalto. Carburi. Utensili rivestiti. Utensili ceramici. Nitruro di boro. Diamanti. Affilatura. Processi di deposizione CVD e PVD. Sistemi di monitoraggio dell'usura utensile. Fluidi da taglio. Metodi di applicazione. Sistemi di filtrazione dei fluidi da taglio.

3. **PROCESSI DI TAGLIO PER FORME ROTONDE** - Torni. Componenti dei torni. Tipologie di tornio. Parametri di tornitura e capacità del processo. Utensili a punta singola e influenza

dei diversi angoli di spoglia. Alesatura e alesatrici. Criteri di ottimizzazione di lavorazioni di tornitura. Criteri di scelta delle variabili di tornitura. Foratura e tecnologia di realizzazione di fori. Macchine di foratura. Allargatori e alesatori. Filettatura.

4. PROCESSI DI TAGLIO PER FORME DIVERSE Fresatura e fresatrici. Fresatura periferica, frontale e a codolo. Stozzatura. Piallatura. Broccatura e broccatrici. Taglio delle ruote dentate cilindriche e coniche. Sbaratura

5. PROCESSI DI LAVORAZIONE NON CONVENZIONALI Lavorazioni di elettroerosione a filo e a tuffo. Macchine e componenti. Parametri di processo. Caratterizzazioni dei prodotti finiti. Elettrodi, materiali e tecnologie di costruzione. esempi, microperforazioni.

6. PROCESSI ABRASIVI E OPERAZIONI DI FINITURA Il processo di rettifica. Abrasivi ed agglomeranti. Usura delle mole. Durezza funzionale. Tensioni residue. Operazioni di rettifica. Rettifica delle ruote dentate.

7. ATTREZZATURE DI LAVORO E CICLI DI FABBRICAZIONE Finalità delle attrezzature di lavorazione. Posizionamento e bloccaggio dei pezzi di lavorazione. Criteri di progetto delle attrezzature. Esempi di applicazione.

8. COMPONENTI DELLE MACCHINE UTENSILI Telai; organi di guida; la trasmissione del moto; servomotori; sistemi di misura; precisione delle macchine utensili; centri di lavoro; magazzini utensili; sistemi di alimentazione dei pezzi; controllo dimensionale dei pezzi;

9. CONTROLLI NUMERICI CON CALCOLATORE Tipi; linguaggi; programmazione; interpolazioni lineari, circolari ed elicoidali; compensazione utensile; cicli fissi; macroistruzioni; autoapprendimento; programmazione automatica; contornatura di superfici sculturate; simulazioni di processo.

### Testi per la preparazione

La globalità degli argomenti trattati è stata raccolta nella dispensa "Appunti di Macchine Utensili", disponibile presso la copisteria a fianco della biblioteca Dore. Alcune parti vanno opportunamente integrate da appunti presi a lezione o dai testi consigliati.

### Testi consigliati

S. KALPAKJIAN, *Manufacturing Engineering and technology*, Addison-Wesley.

F. GIUSTI, M. SANTOCHI, *Tecnologia Meccanica e Studi di Fabbricazione*, Casa ed. Ambrosiana, Milano, 1992.

E. FUNAIOLI, *Lezioni di macchine utensili*, CLUEB, Bologna.

O. ZURLA, *Appunti di macchine utensili*, CLUEB, Bologna, 1989.

R.H. TODD, D.K. ALLEN, L. ALTING, *Manufacturing Processes Reference Guide*, Industrial Press inc., NY, 1994.

J.G. BRALLA, *Handbook of product design for manufacturing*, McGraw-Hill, 1986.

M. M. FARAG, *Materials Selection for Engineering Design*, Prentice Hall, 1997.

J.A. SHEY, *Introduction to Manufacturing Processes*, McGraw-Hill, 1987.

### MAGNETOFLUIDODINAMICA APPLICATA

BO, cds: N, E

Docente: Carlo A. Borghi, prof. straordinario.

L'obiettivo fondamentale del corso è dare le conoscenze di base sulle tecnologie che riguardano l'ingegneria dei plasmi. La prima parte del corso è rivolta ai principi di base della *Magnetofluidodinamica*, disciplina che riguarda lo studio della dinamica di un plasma. Nella seconda

parte vengono presi in esame aspetti fondamentali di alcune tecnologie basate sull'utilizzo dei plasmi, ed in particolare la conversione diretta MHD, la fusione termonucleare controllata e le principali tecnologie industriali per il trattamento di superfici.

### *Programma*

#### **Elementi di fisica dei plasmi:**

Moto delle particelle cariche: moto di una particella carica in campi elettromagnetici, momento magnetico di una particella carica ed invarianti adiabatiche, specchi magnetici.

Processi radiativo-collisionali: particelle fondamentali di un plasma, sezioni d'urto e velocità di reazione, velocità di massa di un plasma, corrente elettrica di conduzione e di convezione, collisioni elastiche, collisioni Coulombiane e collisioni non elastiche nei gas ionizzati.

Processi radiativi: radiazioni bound-bound, emissione spontanea, emissione forzata ed assorbimento, allargamento di linea, radiazioni bound-free e radiazioni free-free.

Comportamento statistico dei plasmi: distribuzione Maxwelliana della velocità, relazioni di Boltzmann, relazione di Saha e relazione di Plank, principio del bilancio dettagliato, regimi di equilibrio.

Fenomeni collettivi e grandezze caratteristiche del plasma: lunghezza di Debye, potenziale schermato di Coulomb ed effetto guaina, frequenza propria del plasma, conducibilità elettrica in un gas ionizzato, parametro di Hall, legge di Ohm generalizzata.

Descrizione dei campi magnetofluidodinamici: approssimazione MHD, equazioni dell'Elettrodinamica ed equazioni della Fluidodinamica, regimi diffusivo e convettivo, numero di Reynolds magnetico e parametro di interazione, equazioni di conservazione per plasmi in parziale equilibrio termodinamico locale.

#### **Conversione magnetofluidodinamica dell'energia:**

Principio di funzionamento del generatore MHD: principali applicazioni MHD, il generatore ed il propulsore MHD.

Leggi fondamentali di conversione in un plasma: leggi dell'Elettrodinamica del generatore MHD, configurazioni elettrodeiche, approssimazione quasi-monodimensionale, conducibilità del non equilibrio e leggi di conservazione per gli elettroni, fenomeni di perdita, flusso di calore alle pareti, cadute di tensione agli elettrodi, rilassamento di ionizzazione e fluttuazioni, elementi di progetto del generatore MHD ed impianti MHD.

#### **Fusione termonucleare controllata:**

Principio fisico della fusione e caratteristiche principali dei plasmi fusionistici: principali reazioni di fusione, barriera Coulombiana e probabilità di reazione, bilanci energetici, criterio di pareggio e criterio di ignizione, legge di Lawson, confinamento magnetico del plasma, superfici di confinamento e proprietà diamagnetiche del plasma, configurazioni lineari, z-pinch ed equazione di Bennet, z-pinch stabilizzati, configurazioni toroidali, calcolo del campo magnetico di equilibrio, fattore di sicurezza ed ergodicità del sistema magnetico, tipi di configurazioni toroidali, il tokamak, il reversal field pinch e lo stellarator, instabilità nei plasmi fusionistici, instabilità MHD nelle configurazioni lineari e nelle configurazioni toroidali, stabilizzazione delle configurazioni toroidali, riscaldamento del plasma, aspetti ingegneristici della macchina tokamak.

#### **Tecnologie a plasma**

Torçe a plasma e plasma jet: fondamentali caratteristiche e aspetti costruttivi dei principali generatori di plasma impiegati nella tecnica.

Trattamento di superfici: pulizia, degassamento e sterilizzazione a plasma, impianto di ioni nei solidi, incisione a plasma deposizione di strati sottili, tecnologie a plasma per la microelettronica, trattamento dei materiali con plasmi termici.

## Bibliografia

- M. MITCHNER AND C.H. KRUGER, *Partially Ionized Gases*, John Wiley and Sons, New York 1973.  
 J.D. JACKSON, *Classical Electrodynamics*, John Wiley and Sons, New York 1975.  
 L. SPITZER, *Physics of Fully Ionized Gases*, Interscience, 1962.  
 R.J. ROSA, *Magnetohydrodynamic Energy Conversion*, McGraw Hill, 1968.  
 T.J. DOLAN, *Fusion Research*, Pergamon Press, 1980.  
 J.R. ROTH, *Industrial Plasma Engineering: Vol. I and II*, Institute of Physics Publishing, Philadelphia 1995.

**Esame:** La prova d'esame è orale.

**Tesi di laurea:** Tesi di tipo teorico e sperimentale: applicazioni industriali e per lo spazio dei plasmi; tesi di tipo teorico-numerico: progetto ottimizzato di dispositivi elettromagnetici.

## MARKETING INDUSTRIALE

BO, cds: P

Docente: **Claudio Pitilino** prof. inc.

### Obiettivi e contenuti del corso

Il corso si propone di fornire gli elementi fondamentali per la comprensione delle logiche, concetti e principali strumenti del marketing, e più in particolare del marketing industriale. Particolare attenzione verrà dedicata alla continua verifica delle condizioni che permettono una corretta attuazione delle strategie di marketing in diversi contesti di mercato.

Il corso è articolato in tre parti:

- nella prima vengono affrontati i temi di base del marketing (I FONDAMENTI DEL MARKETING) con un'ottica di processo, guardando quindi alle attività svolte in ambito operativo nella preparazione e attuazione delle strategie di mercato;
- nella seconda (IL BUSINESS-TO-BUSINESS MARKETING) vengono approfonditi gli aspetti di marketing e commerciali specifici delle aziende che operano in mercati industriali;
- nella terza (IL WEB MARKETING) vengono affrontate le tematiche di marketing applicate al mondo di internet.

### Programma

Gli argomenti affrontati nelle diverse parti del corso sono i seguenti.

#### I FONDAMENTI DEL MARKETING

Dal marketing all'orientamento al mercato

Il processo di sviluppo della strategia di marketing

L'analisi esterna:

- la valutazione del mercato
- la segmentazione del mercato
- l'analisi della concorrenza
- la comprensione del comportamento del consumatore
- l'analisi del sistema di mercato

La Swot analysis

La strategia di marketing:

- la determinazione degli obiettivi



- la scelta dei target e del posizionamento
- lo sviluppo della strategia lungo il ciclo di vita del prodotto e del mercato

#### Il marketing mix

- la politica di prodotto e di servizio
- la scelta dei canali distributivi
- la politica di comunicazione
- la definizione e la gestione del prezzo
- la rete di vendita

Problemi di attuazione e controllo della strategia di marketing

#### IL BUSINESS-TO-BUSINESS MARKETING

Specificità del business-to-business marketing

L'analisi del comportamento d'acquisto delle organizzazioni

La segmentazione "nested approach"

I servizi pre e post vendita

La partnership con i canali distributivi

Il ruolo cruciale della rete di vendita

Fiere, cataloghi e comunicazione integrata

Le ricerche di mercato nel business-to-business marketing

Il lancio di un nuovo prodotto

Organizzazione e attività di marketing in aziende che operano

- su commessa
- in mercati high tech

#### IL WEB MARKETING

Marketing e internet: opportunità e minacce

Web communication

Relationship e One-to-one marketing

E-commerce B2C

E-commerce B2B

#### MATEMATICA APPLICATA L

Docenti: **Carlo Alberto Bosello** ric.

**Roberta Nibbi** ric.

**BO, cds: G\_Bo, P**

#### Programma

##### Fondamenti di calcolo delle probabilità

Eventi e insiemi. Assiomi di Kolmogorov. Probabilità congiunta, probabilità condizionata, indipendenza. Teorema della probabilità totale. Teorema di Bayes.

##### Variabili aleatorie

Variabili aleatorie discrete e continue. Funzione di ripartizione. Variabili aleatorie continue con densità. Caratteristiche numeriche delle variabili aleatorie: speranza matematica (media), varianza, scarto quadratico medio, momenti. Variabili aleatorie vettoriali: funzione di ripartizione, densità congiunta e densità marginale. Leggi condizionate di distribuzione, indipendenza. Caratteristiche numeriche, medie, matrice di varianza-covarianza, momenti. Variabili correlate e non correlate, matrice di correlazione.

Alcune distribuzioni notevoli

Schema di Bernoulli. Distribuzione uniforme, discreta e continua. Leggi binomiale, geometrica, di Poisson, esponenziale e normale. Relazioni fra alcune di loro e con altre distribuzioni connesse.

Funzioni di variabili aleatorie

Caratteristiche numeriche: rappresentazione della speranza matematica e della varianza, con applicazione ad alcuni casi notevoli (somma e prodotto di due variabili aleatorie, combinazione lineare di un numero arbitrario di variabili aleatorie, caso di variabili aleatorie indipendenti ed equidistribuite). Distribuzione di probabilità delle funzioni di una o più variabili aleatorie: generalità e casi notevoli (funzione di una variabile aleatoria, somma di due variabili aleatorie, composizione di leggi normali)

Leggi limite del Calcolo delle Probabilità

Successioni di variabili aleatorie: nozioni di convergenza. Disuguaglianza di Chebychev. Legge dei grandi numeri. Funzione caratteristica di variabili aleatorie, sua relazione con i momenti. Teorema limite centrale (per addendi con distribuzione comune).

Cenni di Statistica matematica

Stimatori. Test di ipotesi. Test  $\chi^2$ . Regressione lineare.

*Testi consigliati:*

D.M. CIFARELLI, *Introduzione al calcolo della probabilità* (Ed. McGraw-Hill Italia).

H. HSU, *Probabilità, variabili casuali e processi stocastici* (Ed. McGraw-Hill Italia).

M.R. SPIEGEL, *Probabilità e Statistica* (Ed. McGraw-Hill Italia).

E.S. VENTSEL, *Teoria delle probabilità* (Ed. Mir).

**MATEMATICA APPLICATA LA**

BO, cds: L

Docente: **Pier Paolo Abbati Marescotti** prof. ord.

*Finalità dell'Insegnamento:* Fare conseguire una buona padronanza, metodologica ed operativa, dei metodi matematici di base per la modellazione e l'analisi dell'incertezza.

**Programma:***Fondamenti di calcolo delle probabilità*

Calcolo delle Probabilità: oggetto e metodi. Incertezza, eventi, valutazione della probabilità. Criteri di valutazione usuali (classico, frequentista). Probabilità soggettiva. Rapporti fra probabilità e statistica.

Eventi e insiemi. Assiomi di Kolmogorov. Probabilità congiunta, probabilità condizionata, indipendenza. Teorema della probabilità totale. Teorema di Bayes.

*Variabili aleatorie.*

Variabili aleatorie discrete e continue. Funzione di ripartizione. Variabili aleatorie continue con densità. Caratteristiche numeriche delle variabili aleatorie: speranza matematica (media), varianza, scarto quadratico medio. Variabili aleatorie vettoriali: funzione di ripartizione, densità

congiunta e densità marginale. Leggi condizionate di distribuzione, indipendenza. Caratteristiche numeriche, medie, matrice di varianza-covarianza, momenti. Variabili correlate e non correlate, matrice di correlazione.

#### *Alcune distribuzioni notevoli*

Schema di Bernoulli. Distribuzione uniforme, discreta e continua. Leggi binomiale, geometrica, di Poisson, esponenziale e normale. Relazioni fra alcune di esse.

#### *Funzioni di variabili aleatorie*

Caratteristiche numeriche: rappresentazione della speranza matematica e della varianza, con applicazione ad alcuni casi notevoli (somma e prodotto di due variabili aleatorie, combinazione lineare di un numero arbitrario di variabili aleatorie, caso di variabili aleatorie indipendenti ed equidistribuite....). Distribuzione di probabilità delle funzioni di una o più variabili aleatorie: generalità e casi notevoli (funzione di una variabile aleatoria, somma di due variabili aleatorie, composizione di leggi normali...)

#### *Leggi limite del Calcolo delle Probabilità*

Successioni di variabili aleatorie: nozioni di limite. Disuguaglianza di Cebyshev, Legge dei grandi numeri (formulazioni debole e forte, confronto). Funzione caratteristica di una variabile aleatoria; sua relazione con i momenti. Teorema limite centrale (per addendi con distribuzione comune).

#### *Introduzione ai processi stocastici con elementi di analisi di Fourier*

Processi stocastici, esempi. Descrizione, probabilità dei vari ordini. Medie statistiche. Funzione di autocorrelazione. Processi stazionari e stazionari in senso lato; processi ad incrementi indipendenti, processi di Markov. Processi normali. Medie temporali: processi ergodici. Processi di Poisson e di Wiener. Densità spettrale di potenza: teorema di Wiener-Khinchin.

#### *Testi consigliati:*

- 1) E.S. VENTSEL: *Teoria delle probabilità* (Ed. Mir).
  - 2) H. HSU: *Probabilità, variabili casuali e processi stocastici* (Ed. McGraw-Hill Italia).
- SITO WEB SEGNALATO <http://www.math.uah.edu> (K. Siegrist: Virtual Laboratories in Probability and Statistics).

Durante il corso verranno svolte prove intermedie. L'esame è *orale*, preceduto da una prova scritta per i soli studenti con prove intermedie mancanti o mediamente insufficienti.

#### **MATEMATICA APPLICATA LA**

Docente: **Augusto Muracchini** prof. straordinario.

**BO, cds: T**

*Fondamenti del calcolo delle probabilità* – Calcolo delle probabilità: oggetto e metodi. Incertezza, eventi, valutazione della probabilità. Criteri di valutazione usuali (classico, frequentista). Rapporti fra probabilità e statistica. Eventi e insiemi. Assiomi di Kolmogorov. Probabilità congiunta, probabilità condizionata. Indipendenza. Teorema della probabilità totale. Teorema di Bayes.

**Variabili aleatorie** – Variabili aleatorie discrete e continue. Funzione di ripartizione. Variabili aleatorie continue con densità. Caratteristiche numeriche delle variabili aleatorie: speranza matematica (media), varianza, scarto quadratico medio, momenti.

**Variabili aleatorie vettoriali** – Funzione di ripartizione, densità congiunta, densità marginale. Leggi condizionate di distribuzione, indipendenza. Caratteristiche numeriche, medie, matrici di covarianza, momenti. Variabili aleatorie correlate e non correlate, matrici di correlazione.

**Alcune distribuzioni notevoli** – Schema di Bernoulli. Distribuzione uniforme, discreta e continua. Leggi binomiali, geometrica, di Poisson, esponenziale e normale. Relazioni fra alcune di esse.

**Funzioni di variabili aleatorie** – Caratteristiche numeriche: rappresentazione della speranza matematica e della varianza con applicazione ad alcuni casi notevoli (somma e prodotto di due variabili aleatorie, combinazione lineare di un numero arbitrario di variabili aleatorie, caso di variabili aleatorie indipendenti ed equidistribuite ecc.). Distribuzione di probabilità della funzione di una o più variabili aleatorie: generalità e casi notevoli (funzione di una sola variabile aleatoria, somma di due variabili aleatorie, composizione delle leggi normali).

**Leggi limite del calcolo della probabilità** – Successioni di variabili aleatorie: nozione di limite. Disuguaglianza di Chebyshev, Legge dei grandi numeri (formulazione debole e forte, confronto). Funzione caratteristica di una variabile aleatoria; sua relazione con i momenti. Teorema limite centrale (per addendi con distribuzione comune).

**Introduzione ai processi stocastici** – Processi stocastici, esempi. Probabilità dei vari ordini. Medie statistiche. Funzione di correlazione. Processi stazionari e processi stazionari in senso lato.

*Testi consigliati:*

- 1) H. HSU, *Probabilità, variabili casuali e processi stocastici*, Ed. McGraw Hill-Italia.
- 2) E.S. VENTSEL, *Teoria delle probabilità*, Edizioni Mir.

## **MATEMATICA APPLICATA LA**

Docente: **Barbara Lazzari** prof straord.

**BO, cds: I**

### **Fondamenti di calcolo delle probabilità**

Eventi e insiemi. Assiomi di Kolmogorov. Probabilità congiunta, probabilità condizionata, indipendenza. Teorema della probabilità totale. Teorema di Bayes.

### **Variabili aleatorie**

Variabili aleatorie discrete e continue. Funzione di ripartizione. Variabili aleatorie continue con densità. Caratteristiche numeriche delle variabili aleatorie: speranza matematica (media), varianza, scarto quadratico medio. Variabili aleatorie vettoriali: funzione di ripartizione, densità congiunta e densità marginale. Leggi condizionate di distribuzione, indipendenza. Caratteristiche numeriche, medie, matrice di varianza-covarianza, momenti. Variabili correlate e non correlate, matrice di correlazione.

### Alcune distribuzioni notevoli

Schema di Bernoulli. Distribuzione uniforme, discreta e continua. Leggi binomiale, geometrica, di Poisson, esponenziale e normale. Relazioni fra alcune di loro e con altre distribuzioni connesse.

### Funzioni di variabili aleatorie

Caratteristiche numeriche: rappresentazione della speranza matematica e della varianza, con applicazione ad alcuni casi notevoli (somma e prodotto di due variabili aleatorie, combinazione lineare di un numero arbitrario di variabili aleatorie, caso di variabili aleatorie indipendenti ed equidistribuite). Distribuzione di probabilità delle funzioni di una o più variabili aleatorie: generalità e casi notevoli (funzione di una variabile aleatoria, somma di due variabili aleatorie, composizione di leggi normali)

### Leggi limite del Calcolo delle Probabilità

Successioni di variabili aleatorie: nozioni di convergenza. Disuguaglianza di Cebyshev. Legge dei grandi numeri. Funzione caratteristica di variabili aleatorie, sua relazione con i momenti. Teorema limite centrale (per addendi con distribuzione comune).

### Introduzione ai processi stocastici con elementi di analisi di Fourier

Processi stocastici, esempi. Descrizione, probabilità dei vari ordini. Medie statistiche. Funzione di autocorrelazione. Processi stazionari e non stazionari in senso lato; processi ad incrementi indipendenti, processi di Markov. Processi normali. Medie temporali: processi ergodici. Processi di Poisson e di Wiener. Densità spettrale di potenza: teorema di Wiener-Khinchin.

### Testi consigliati

D.M. CIFARELLI, *Introduzione al calcolo della probabilità* (Ed. McGraw-Hill Italia).

H. HSU, *Probabilità, variabili casuali e processi stocastici* (Ed. McGraw-Hill Italia).

E.S. VENTSEL, *Teoria delle probabilità* (Ed. Mir).

## MATEMATICA APPLICATA LA

CE, cds: dut, dul, dui, clb

Docente: Francesca Brini ric.

### Fondamenti di calcolo delle probabilità

Calcolo delle Probabilità: oggetto e metodi. Incertezza, eventi, valutazione della probabilità. Criteri di valutazione usuali (classico, frequentista). Probabilità soggettiva. Rapporti fra probabilità e statistica. Eventi e insiemi. Assiomi di Kolmogorov. Probabilità congiunta, probabilità condizionata, indipendenza. Teorema della probabilità totale. Teorema di Bayes.

### Variabili aleatorie

Variabili aleatorie discrete e continue. Funzione di ripartizione. Variabili aleatorie continue con densità. Caratteristiche numeriche delle variabili aleatorie: speranza matematica (media), varianza, scarto quadratico medio. Variabili aleatorie vettoriali: funzione di ripartizione, densità congiunta e densità marginale. Leggi condizionate di distribuzione, indipendenza. Caratteristiche numeriche, medie, matrice di varianza-covarianza, momenti. Variabili correlate e non correlate, matrice di correlazione.

### Alcune distribuzioni notevoli

Schema di Bernoulli. Distribuzione uniforme, discreta e continua. Leggi binomiale, geometrica, di Poisson, esponenziale e normale. Relazioni fra alcune di loro e con altre distribuzioni connesse.

### Funzioni di variabili aleatorie

Caratteristiche numeriche: rappresentazione della speranza matematica e della varianza, con applicazione ad alcuni casi notevoli (somma e prodotto di due variabili aleatorie, combinazione lineare di un numero arbitrario di variabili aleatorie, caso di variabili aleatorie indipendenti ed equidistribuite). Distribuzione di probabilità delle funzioni di una o più variabili aleatorie: generalità e casi notevoli (funzione di una variabile aleatoria, somma di due variabili aleatorie, composizione di leggi normali).

### Leggi limite del Calcolo delle Probabilità

Successioni di variabili aleatorie: nozioni di limite. Disuguaglianza di Cebyshev, Legge dei grandi numeri (formulazioni debole e forte, confronto). Funzione caratteristica di una variabile aleatoria; sua relazione con i momenti. Teorema limite centrale (per addendi con distribuzione comune).

### Introduzione ai processi stocastici con elementi di analisi di Fourier

Processi stocastici, esempi. Descrizione, probabilità dei vari ordini. Medie statistiche. Funzione di autocorrelazione. Processi stazionari, e stazionari in senso lato; processi ad incrementi indipendenti, processi di Markov. Processi normali. Medie temporali: processi ergodici. Processi di Poisson e di Wiener. Densità spettrale di potenza: teorema di Wiener-Khinchin.

#### Testi consigliati:

E.S. VENTSEL, *Teoria delle probabilità*, Ed. Mir.

H. HSU, *Probabilità, variabili casuali e processi stocastici*, Ed. McGraw-Hill Italia.

### MATEMATICA DISCRETA LS

Docente: Michele Mulazzani prof. ass.

CE, cds: S

– Congruenze e loro applicazioni

– Grafi e loro applicazioni

– Reticoli e loro applicazioni

#### Testi consigliati

M. BARNABEI, F. BONETTI, *Matematica Discreta Elementare*, Pitagora Editrice, Bologna, 1995.

A. FACCHINI, *Algebra e Matematica Discreta*, Zanichelli, Bologna, 2000.

L. CHILDSI, *Algebra, un'introduzione concreta*, ETS Editrice, Pisa, 1989.

**MATERIALI POLIMERICI**Docente: **Andrea Sacconi** prof. ass.

BO, cds: Q

L'Insegnamento si prefigge lo scopo di fornire le conoscenze necessarie all'ingegnere nel settore dei materiali polimerici

Classificazioni e proprietà generali dei materiali polimerici. Cenni alle modalità di sintesi dei polimeri. Polimerizzazioni a catena (radicalica, anionica, cationica, stereospecifica) e a stadi. Polimeri ramificati e reticolati.

Concetti principali di struttura molecolare e microstruttura. Costituzione, configurazione e conformazione delle catene isolate ed in massa. Polimeri semicristallini ed amorfi. Transizioni termiche (T<sub>v</sub> e T<sub>f</sub>) e relativi metodi sperimentali di misura. Effetto della struttura molecolare su T<sub>v</sub> e T<sub>f</sub>. Soluzioni di polimeri.

Proprietà meccaniche dei materiali polimerici: viscoelasticità e processi di rilassamento. Proprietà elettriche e dielettriche dei materiali polimerici. Normativa e prove.

Principi delle tecnologie di trasformazione dei materiali polimerici: cenni di reologia. Metodi di trasformazione: analisi dettagliata di una o più tecnologie di trasformazione.

Degradazione delle materie plastiche: meccanismi e prevenzione, metodi per la determinazione del tempo di vita. Processi di recupero delle materie plastiche.

Sono previste esercitazioni in laboratorio relative alla determinazione del peso molecolare, delle proprietà meccaniche e dielettriche dei materiali polimerici.

**Bibliografia**

A.A.V.V. *Macromolecole: scienze e tecnologia*, Pacini Ed. Voll. 1 e 2.

A.A.V.V. *Materiali polimerici strutturali*, Pacini Ed.

PAINTER C., COLEMAN M. *Fundamentals of polymer science*, Ed. Technomic.

**MECCANICA APPLICATA L**Docente: **Alberto Maggiore** prof. ord.

BO, cds: N

**Scopo del corso**

Il corso si propone di fornire agli allievi le conoscenze sulla composizione delle macchine e sulle forze che ne determinano il movimento, al fine di eseguirne lo studio funzionale, con riferimento anche all'impostazione dei relativi problemi di progettazione e di manutenzione.

**Contenuti del corso****1. Composizione dei meccanismi**

Macchina e meccanismo. Coppie cinematiche. Tipi di contatto fra elementi cinematici. Gradi di libertà delle coppie cinematiche. Catena cinematica e meccanismo. Gradi di libertà di un meccanismo nel piano e nello spazio. Meccanismi con più di un grado di libertà.

**2. Forze agenti sulle macchine. Rendimento**

Generalità. Definizione di rendimento. Rendimento di macchine disposte in serie e in parallelo. Moto retrogrado.

**3. Forze di contatto fra solidi**

Forze di contatto. Coefficiente di attrito. Lavoro di attrito. Cenni sulle teorie dell'attrito di

strisciamento. Attrito di strisciamento in condizioni di lubrificazione limite. L'attrito di rotolamento. L'usura. La coppia prismatica. Piano inclinato. La coppia rotoidale. La coppia elicoidale. La coppia rotoidale di spinta. Contatto ceppo-puleggia. I cuscinetti a rotolamento. Equilibrio di un veicolo in modo rettilineo.

#### 4. *Richiami di cinematica del corpo rigido ed applicazione ai meccanismi*

Generalità. Centro di istantanea rotazione. Tracciamento delle traiettorie. Accelerazione dei punti di un corpo rigido nel piano. Moti relativi.

#### 5. *I sistemi articolati*

Generalità. Il quadrilatero articolato piano e le sue applicazioni. Segmento di biella per due o tre posizioni prefissate. Trasformazione di un moto rotatorio continuo in un moto rotatorio alterno. Scelta del quadrilatero in base alle traiettorie dei punti della biella. Il parallelogrammo articolato. Velocità ed accelerazione di un punto della biella nel quadrilatero articolato. La catena cinematica con tre coppie rotoidali ed un coppia prismatica. Il manovellismo di spinta. Velocità ed accelerazioni di punti della biella. La catena cinematica con glifo a croce. Il manovellismo di spinta centrato. Espressioni analitiche della velocità ed accelerazione del corsoio. Quadrilateri articolati spaziali. Il giunto di Cardano.

#### 6. *Meccanismi con camme*

Generalità e classificazione.

#### 7. *Ruote dentate*

Generalità. Trasmissione del moto fra assi paralleli con ruote di frizione. Tracciamento dei profili coniugati nel piano. Ruote dentate cilindriche ad evolvente. Proporzionamento delle ruote dentate cilindriche. Cenni sull'ingranamento di due ruote dentate: definizioni di linea di contatto e di arco di azione. Cenni sulla condizione di non interferenza. Cenni sulle ruote dentate cilindriche a denti elicoidali. Trasmissione del moto fra assi concorrenti con ruote di frizione. Trasmissione del moto fra assi concorrenti con ruote dentate. Generalità sulla trasmissione del moto fra assi sghembi con ruote dentate.

#### 8. *Rotismi*

Generalità. Rotismi ordinari. Rotismi epicicloidali. Rapporti fra i momenti esterni agenti su di un rotismo.

#### 9. *Applicazioni degli organi flessibili. Macchine di sollevamento*

Generalità. Rigidezza degli organi flessibili. Pulegge fisse e mobili. Paranchi e loro rendimento.

#### 10. *Applicazioni degli organi flessibili. Trasmissione del moto fra due alberi. Freni a nastro*

Trasmissione del moto fra due alberi con cinghie piatte. Cinghie trapezoidali. Trasmissione del moto fra due alberi con catene articolate. Freni a nastro.

#### 11. *Richiami di dinamica*

Forze di inerzia. Energia cinetica. Masse di sostituzione. Equazioni fondamentali della dinamica delle macchine.

#### 12. *Dinamica dei manovellismi di spinta*

Equilibrio dinamico di una macchina alternativa. Compensazione delle forze di inerzia. Energia cinetica di una macchina alternativa.

#### 13. *Dinamica degli impianti funzionanti in condizioni di regime periodico*

Definizione di grado di irregolarità. Calcolo del momento di inerzia del volano. Calcolo del grado di irregolarità e del volano. Calcolo delle dimensioni principali del volano.

#### 14. *Vibrazioni di sistemi ad un grado di libertà*

Generalità. Vibrazioni libere. Vibrazioni forzate. Isolamento delle vibrazioni. Vibrazioni forzate con eccitazione arbitraria.

#### 15. *Dinamica dei rotori*

Squilibrio statico e dinamico. Metodi per l'esecuzione dell'equilibratura di un rotore.



*Testi di riferimento*

E. FUNAIOLI, A. MAGGIORE, U. MENEGHETTI, *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine*, voll. 1 e 2, ed. Pàtron, 1987-1998, Bologna.

**Esame**

La valutazione della preparazione dello studente sarà effettuata mediante una prova orale.

**MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE****BO, cds: N, M**

Docente: **Umberto Meneghetti** prof. ord.

L'insegnamento fornisce agli allievi i concetti ed i metodi per la progettazione funzionale delle macchine e per l'analisi dei problemi connessi con il loro impiego.

1. *Introduzione.* a) Coppie cinematiche. Gradi di libertà. Meccanismi a più gradi di libertà. b) Regime assoluto e regime periodico. Rendimento meccanico. Moto retrogrado. c) Scelta del motore in base alla potenza. Caratteristica meccanica delle macchine motrici ed operatrici. Accoppiamento motore-utilizzatore.

2. *Tribologia.* a) Attrito di strisciamento. Teoria elementare dell'attrito. Coppia prismatica. Coppia retoidale. Coppia elicoidale. Distribuzione della pressione di contatto. Freni e innesti ad attrito. b) Risultati della teoria di Hertz. Attrito di rotolamento. Cuscinetti a rotolamento. Ruote. Equilibrio di un veicolo. c) Usura e sue leggi. d) Lubrificazione. Teoria elementare della lubrificazione idrodinamica. Equazione di Reynolds. Meato limitato da pareti piane. Applicazioni tecniche. Coppia retoidale lubrificata. Cenni sulla lubrificazione elastoidrodinamica. Lubrificazione fluidostatica.

3. *Teoria dei meccanismi.* a) Sistemi articolati piani: analisi e sintesi cinematica; analisi cinetostatica; esempi ed applicazioni. b) Sistemi articolari spaziali: analisi cinematica dei sistemi articolati in catena aperta per manipolatori di robot. Giunto di Cardano. c) Ruote dentate. Le ruote dentate cilindriche: dentature ad evolvente; proporzionamento modulare; modalità di ingranamento e ripartizione del carico; rendimento meccanico; cenni sul taglio delle ruote dentate; dentature corrette. Ruote a denti elicoidali. Ruote dentate coniche. Coppia vite-ruota elicoidale. d) Rotismi: scelta e calcolo del rapporto di trasmissione; relazioni fra i momenti; rotismi differenziali. e) Organi flessibili. Impiego degli organi flessibili nelle macchine di sollevamento. Trasmissione del moto con cinghie piate e trapezoidali. Freni a nastro.

4. *Dinamica delle macchine e meccanica delle vibrazioni.* a) Calcolo delle azioni d'inerzia e loro bilanciamento. b) Trasmititori meccanici. Grado di irregolarità e calcolo del volano. c) Vibrazioni libere e forzate di sistemi a un g.d.l. Sospensioni. d) Sistemi a due g.d.l. Assorbitore dinamico di vibrazioni. e) Sistemi a molti g.d.l. Autovalori e autovettori. Analisi modale. f) Dinamica dei rotori. Squilibrio statico e squilibrio dinamico. Bilanciamento. Velocità critiche flessionali. Velocità critiche torsionali.

*Testo consigliato:*

E. FUNAIOLI, A. MAGGIORE, U. MENEGHETTI, *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine*, Pàtron, Bologna, voll. 1 e 2.

*Propedeuticità:* Meccanica razionale.

L'esame è costituito da una prova orale.

Le esercitazioni, che si svolgono parallelamente all'insegnamento, trattano, esemplificandoli, argomenti dell'insegnamento, oppure completano argomenti importanti che nell'insegnamento sono stati solamente introdotti. Gli argomenti svolti nelle esercitazioni sono materia d'esame.

## MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE

BO, cds: G\_BO, I

Docente: **Giorgio Dalpiaz** prof. ord.

L'Insegnamento fornisce agli allievi i concetti ed i metodi per lo studio funzionale delle macchine e dei problemi connessi con il loro impiego.

### Programma

1. *Introduzione.* a) Coppie cinematiche. Gradi di libertà. Meccanismi a più gradi di libertà. b) Regime assoluto e regime periodico. Rendimento meccanico. Moto retrogrado. c) Scelta del motore in base alla potenza. Caratteristica meccanica delle macchine motrici ed operatrici. Accoppiamento motore-utilizzatore.

2. *Tribologia.* a) Attrito di strisciamento. Teoria elementare dell'attrito. Coppia prismatica. Imputamento. Coppia rotoidale; Coppia elicoidale; viti di manovra e viti di serraggio. Distribuzione della pressione di contatto. Freni e innesti ad attrito. b) Risultati della teoria di Hertz. Attrito di rotolamento. Ruote. Equilibrio di un veicolo. Accelerazione massima. c) Usura e sue leggi. d) Lubrificazione idrodinamica. Equazioni di Reynolds. Meato limitato da pareti piane. Applicazioni tecniche. Coppia rotoidale lubrificata.

3. *Teoria dei meccanismi.* a) Sistemi articolati piani: analisi e sintesi cinematica; analisi cinetostatica; esempi ed applicazioni. b) Sistemi articolati spaziali: analisi cinematica dei sistemi articolati in catena aperta per manipolatori di robot. Giunto di Cardano. c) Le ruote dentate cilindriche: dentature ad evolvente; proporzionamento modulare; modalità di ingranamento e ripartizione del carico; rendimento meccanico; cenni sul taglio delle ruote dentate; ruote a denti elicoidali. Ruote dentate coniche. Coppia vite-ruota elicoidale. d) Rotismi ordinari ed epicicloidali: scelta e calcolo del rapporto di trasmissione, relazione fra i momenti; rotismi differenziali. e) Impiego degli organi flessibili nelle macchine di sollevamento. Trasmissione del moto con organi flessibili: cinghie piate e trapezoidali, catene. Freni a nastro.

4. *Dinamica delle macchine e meccanica delle vibrazioni.* a) Calcolo delle azioni d'inerzia e loro bilanciamento. b) Transitori meccanici. Transitori di avviamento e di arresto. Grado di irregolarità e calcolo del volano. c) Vibrazioni libere e forzate di sistemi a un g.d.l. Sospensioni. d) Sistemi a due g.d.l. Sistemi a molti g.d.l. Autovalori e autovettori. Analisi modale. e) Misure delle vibrazioni. Effetti delle vibrazioni. Severità di vibrazione delle macchine. Manutenzione, monitoraggio e diagnostica industriale. f) Dinamica dei rotori. Squilibrio statico e squilibrio dinamico. Bilanciamento. Velocità critiche.

### Testo consigliato:

E. FUNAIOLI, A. MAGGIORE, U. MENEGHETTI, *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine*, Pàtron, Bologna, voll. 1 e 2.

*Propedeuticità:* Meccanica razionale.

**MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE I**

BO, cds: G\_Bo

Docente: Riccardo Rubini ric.

**LA COMPOSIZIONE DEI MECCANISMI.** Macchina e meccanismo. Coppie cinematiche. Tipi di contatto fra elementi cinematici. Gradi di libertà delle coppie cinematiche. Catena cinematica e meccanismo. Gradi di libertà di un meccanismo piano. Gradi di libertà di un meccanismo nello spazio. Meccanismi con più di un grado di libertà.

**FORZE AGENTI SULLE MACCHINE.** Forze interne. Lavoro d'attrito. Definizione di rendimento. Rendimento di macchine disposte in serie e in parallelo. Moto retrogrado. Contatto di strisciamento fra solidi. Leggi che governano l'attrito di strisciamento. Attrito di strisciamento in condizioni di lubrificazione limite. Applicazione della legge di Coulomb. Il piano inclinato. La coppia rotoidale. La coppia elicoidale. L'usura e l'ipotesi del Reye. Applicazione dell'ipotesi del Reye alla coppia rotoidale di spinta. Contatto di rotolamento. Il comportamento delle ruote nella locomozione.

**I SISTEMI ARTICOLATI.** Richiami di cinematica del corpo rigido nel piano e nello spazio. Centro d'istantanea rotazione. Accelerazione dei punti di un corpo rigido nel piano. Analisi cinematica grafica del quadrilatero articolato e del manovellismo di spinta. Espressioni analitiche della velocità e accelerazione del corsoio del manovellismo di spinta centrato.

**MECCANISMI CON SAGOME E CAMME.** Meccanismi con sagoma e punteria. Meccanismi con camma e punteria. Meccanismi con camma e bilanciere. Determinazione del profilo della camma. Comportamento statico delle camme.

**RUOTE DENTATE E ROTISMI.** Ruote dentate cilindriche ad evolvente: proporzionamento. Condizione di non interferenza. Rotismi ordinari. Rotismi epicicloidali. Differenziale a ruote coniche. Rapporti fra i momenti esterni agenti su di un rotismo.

**ORGANI FLESSIBILI.** Rigidezza degli organi flessibili. Pulegge fisse e mobili. Paranchi e loro rendimento.

**RICHIAMI DI DINAMICA.** Forze d'inerzia. Energia cinetica. Masse di sostituzione. Equazioni fondamentali della dinamica delle macchine.

**VIBRAZIONI.** Oscillazioni libere di un sistema ad un grado di libertà. Oscillazioni forzate di un sistema ad un grado di libertà. Isolamento delle oscillazioni. Proporzionamento delle sospensioni. Strumenti sismici.

**EQUILIBRATURA DEGLI ALBERI ROTANTI.** Squilibrio statico e dinamico. Metodi per l'esecuzione dell'equilibratura di un albero.

**DINAMICA DELLE MACCHINE ALTERNATIVE.** Equilibrio dinamico di una macchina alternativa. Compensazione delle forze d'inerzia. Energia cinetica di una macchina alternativa.

**DINAMICA DEGLI IMPIANTI FUNZIONANTI IN CONDIZIONE DI REGIME PERIODICO.** Grado d'irregolarità. Calcolo del momento d'inerzia del volano. Procedimento grafico-analitico per il calcolo del grado d'irregolarità e del volano.

**ESERCITAZIONI:** vengono svolte esercitazioni sui principali argomenti del corso, alcune di queste - opportunamente segnalate - devono essere svolte e riportate su apposito quaderno da presentare in sede d'esame.

*Testo consigliato*

E. FUNAIOLI, A. MAGGIORE, U. MENEGHETTI, *Meccanica applicata alle macchine*, voll. 1 e 2, Ed. Patron, Bologna.

**MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE**

BO, cds: duamb

Docente: **Alberto Maggiore** prof. ord.**1. Composizione dei meccanismi**

Macchina e meccanismo. Coppie cinematiche. Tipi di contatto fra elementi cinematici. Gradi di libertà delle coppie cinematiche. Catena cinematica e meccanismo. Gradi di libertà di un meccanismo nel piano e nello spazio. Meccanismi con più di un grado di libertà.

**2. Forze agenti sulle macchine. Rendimento**

Generalità. Definizione di rendimento. Rendimento di macchine disposte in serie e in parallelo. Moto retrogrado.

**3. Forze di contatto fra solidi**

Forze di contatto. Coefficiente di attrito. Lavoro di attrito. Cenni sulle teorie dell'attrito di strisciamento. Attrito di strisciamento in condizioni di lubrificazione limite. L'attrito di rotolamento. L'usura. La coppia prismatica. Piano inclinato. La coppia rotoidale. La coppia elicoidale. La coppia rotoidale di spinta. Contatto ceppo-puleggia. I cuscinetti a rotolamento. Equilibrio di un veicolo in modo rettilineo.

**4. Richiami di cinematica del corpo rigido ed applicazione ai meccanismi**

Generalità. Centro di istantanea rotazione. Tracciamento delle traiettorie. Accelerazione dei punti di un corpo rigido nel piano. Moti relativi.

**5. I sistemi articolati**

Generalità. Il quadrilatero articolato piano e le sue applicazioni. Segmento di biella per due o tre posizioni prefissate. Trasformazione di un moto rotatorio continuo in un moto rotatorio alterno. Scelta del quadrilatero in base alle traiettorie dei punti della biella. Il parallelogrammo articolato. Velocità ed accelerazione di un punto della biella nel quadrilatero articolato. La catena cinematica con tre coppie rotoidali ed un coppia prismatica. Il manovellismo di spinta. Velocità ed accelerazioni di punti della biella. La catena cinematica con glifo a croce. Il manovellismo di spinta centrato. Espressioni analitiche della velocità ed accelerazione del corsoio. Quadrilateri articolati spaziali. Il giunto di Cardano.

**6. Meccanismi con camme**

Generalità e classificazione.

**7. Ruote dentate**

Generalità. Trasmissione del moto fra assi paralleli con ruote di frizione. Tracciamento dei profili coniugati nel piano. Ruote dentate cilindriche ad evolvente. Proporzionamento delle ruote dentate cilindriche. Cenni sull'ingranamento di due ruote dentate: definizioni di linea di contatto e di arco di azione. Cenni sulla condizione di non interferenza. Cenni sulle ruote dentate cilindriche a denti elicoidali. Trasmissione del moto fra assi concorrenti con ruote di frizione. Trasmissione del moto fra assi concorrenti con ruote dentate. Generalità sulla trasmissione del moto fra assi sghembi con ruote dentate.

**8. Rotismi**

Generalità. Rotismi ordinari. Rotismi epicicloidali. Rapporti fra i momenti esterni agenti su di un rotismo.

9. *Applicazioni degli organi flessibili. Macchine di sollevamento*

Generalità. Rigidezza degli organi flessibili. Pulegge fisse e mobili. Paranchi e loro rendimento.

10. *Applicazioni degli organi flessibili. Trasmissione del moto fra due alberi. Freni a nastro*

Trasmissione del moto fra due alberi con cinghie piatte. Cinghie trapezoidali. Trasmissione del moto fra due alberi con catene articolate. Freni a nastro.

11. *Richiami di dinamica*

Forze di inerzia. Energia cinetica. Masse di sostituzione. Equazioni fondamentali della dinamica delle macchine.

12. *Dinamica dei manovellismi di spinta*

Equilibrio dinamico di una macchina alternativa. Compensazione delle forze di inerzia. Energia cinetica di una macchina alternativa.

13. *Dinamica degli impianti funzionanti in condizioni di regime periodico*

Definizione di grado di irregolarità. Calcolo del momento di inerzia del volano. Calcolo del grado di irregolarità e del volano. Calcolo delle dimensioni principali del volano.

14. *Vibrazioni di sistemi ad un grado di libertà*

Generalità. Vibrazioni libere. Vibrazioni forzate. Isolamento delle vibrazioni. Vibrazioni forzate con eccitazione arbitraria.

15. *Dinamica dei rotori*

Squilibrio statico e dinamico. Metodi per l'esecuzione dell'equilibratura di un rotore.

*Testi consigliati*

FUNAIOLI E., MAGGIORE A., MENEGHETTI U., *Lezioni di meccanica applicata alle macchine*, vol. 1 e 2, ed. Pàtron, Bologna.

**MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE L**

**FO, cds: cla, clm**

Docente: **Giuseppe Catania** prof. ass.

Argomenti

1. **Macchine e meccanismi.** Definizioni. Modello meccanico. Analisi cinematica e dinamica. Gradi di libertà (gdl). Rendimento meccanico. Moto diretto e retrogrado.
2. **Analisi cinematica di meccanismi piani.** Modello cinematico: membri rigidi, coppie cinematiche elementari. Metodi analitici per l'analisi di posizione, velocità ed accelerazione. Il quadrilatero articolato. Applicazioni su modelli a catena chiusa, a catena aperta e misti.
3. **Analisi statica di meccanismi piani.** Le equazioni cardinali della statica. Modelli a membro libero. Reazioni vincolari nelle coppie cinematiche elementari. Effetto dell'attrito Coulombiano e di rotolamento. Usura. Metodi diretti analitici e grafici per l'analisi statica. Statica elementare dei veicoli su ruote. Principio di sovrapposizione degli effetti. Metodi energetici: il principio dei lavori virtuali. Influenza di vincoli elastici lineari.

4. **Meccanica delle vibrazioni.** Modello a parametri concentrati. Riduzione a modelli ad un gdl. Vibrazioni libere. Frequenza naturale  $f_n$  e rapporto di smorzamento  $\zeta$ . Vibrazioni forzate. Isolamento dalle vibrazioni. Progetto di sospensioni e fondazioni. Massa sismica e misura delle vibrazioni. Determinazione sperimentale di  $f_n$  e  $\zeta$ . Smorzatore dinamico di vibrazioni.
5. **Componenti ed organi di macchina.** Freno a ceppi flottanti. Ipotesi di Reye. La coppia rotoidale di spinta. Freni a disco, Freni ed innesti a frizione conici. Macchine di sollevamento. Trasmissione del moto mediante cinghie piate e trapezoidali. Freni a nastro. Ingranaggi: analisi cinematica e profili ad evolvente. Rapporto di trasmissione, proporzionamento modulare. Ingranaggi cilindrici a denti dritti ed elicoidali, ingranaggi conici, ingranaggio a vite e ruota elicoidale (cenni). Taglio delle dentature (cenni). Forze trasmesse nelle dentature. Rotismi ordinari e planetari. Formula di Willis. Differenziale per trazione automobilistica. Giunto di Cardano: analisi cinematica. Cuscinetti volventi. Rotori: velocità critiche dei rotor flessibili; equilibratura di rotor rigidi.

#### Riferimenti bibliografici:

- E. FUNAIOLI, A. MAGGIORE, U. MENEGHETTI, *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine*, Patron, Bologna, 1987, vol. I, II.
- B. PAUL, *Kinematics and Dynamics of planar machinery*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. USA, 1979.
- S. DOUGHTY, *Mechanics of Machines*, J. Wiley, New York, USA, 1988.
- C. E. WILSON, J. P. SADLER, W. J. MICHELS, *Kinematics and Dynamics of Machinery*, Harper and Row, New York, USA, 1983.
- W.T. THOMSON, *Theory of vibration with applications*, Chapman & Hall, London, UK, IV ed., 1993.
- M.L. JAMES, G.M. SMITH, J.C. WOLFORD, P.W. WHALEY, *Vibration of Mechanical and Structural Systems*, Harper & Row, NY, USA, 1989.
- Manoscritti integrativi redatti dal docente.

### MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE LS MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE II

FO, cds: clm

Docente: **Alessandro Rivola** prof. ass.

#### Finalità

L'insegnamento fornisce agli allievi concetti e metodi avanzati per la progettazione funzionale delle macchine e per l'analisi dei problemi connessi con il loro impiego.

#### Programma

1. **Tribologia.** Forze di contatto tra solidi. Coefficiente di attrito. Attrito colombiano. Teorie dell'attrito di strisciamento. L'usura. L'ipotesi di Reye. Le coppie cinematiche lubrificate. Viscosità: legge di Newton. Lubrificazione fluidodinamica. Lubrificazione fluidostatica.
2. **Sistemi articolati.** Richiami di cinematica. I sistemi articolati piani. Analisi cinematica con approccio modulare. Il quadrilatero articolato. Tracciamento delle traiettorie. Sintesi di un quadrilatero per la generazione di traiettorie. Sintesi cinematica con metodi analitici. La diade. Generazione di movimenti, traiettorie e funzioni. I sistemi articolati spaziali: il quadrilatero articolato spaziale. Analisi cinematica del giunto di Cardano. Analisi cinematica di sistemi articolati spaziali.

3. **Meccanismi con camme.** Legge di moto. Angolo di pressione. Tracciamento del profilo con metodo grafico. Tracciamento del profilo per via analitica con il metodo dell'involuppo. Analisi cinematica: sistemi articolati equivalenti. Camma con punteria a coltello. Camma con punteria a rotella. Camma con punteria a piattello. Problema del sottotaglio.

4. **Ruote dentate.** Tracciamento di profili coniugati. Ruote dentate ad evolvente. Dentiera di riferimento, interesse di riferimento, interesse di lavoro, angolo di pressione di lavoro. Proporzionamento ruote normali. Ruote corrette. Segmento di azione; arco di azione; condizione di continuità; fattore di ricoprimento. Condizione di non interferenza. Cenni sul taglio delle ruote dentate. Misura Wildhaber. Correzione di ruote dentate. Ruote dentate a denti elicoidali. Ruote dentate coniche. Trasmissione del moto tra assi sghembi con ruote dentate.

5. **Dinamica delle macchine.** Equazioni di d'Alembert. Equazione dell'energia. Energia cinetica. Riduzione di masse, momenti di inerzia, forze e coppie. Impianti funzionanti in condizioni di regime periodico: definizione di grado di irregolarità; calcolo del grado di irregolarità; calcolo del momento di inerzia del volano. Impianto con macchina motrice alternativa monocilindrica e macchina operatrice rotativa.

6. **Meccanica delle vibrazioni.** Vibrazioni libere e forzate dei sistemi a un solo grado di libertà. Isolamento delle vibrazioni. Vibrazioni dei sistemi a due gradi di libertà.

#### *Testi di riferimento*

FUNAIOLI E., MAGGIORE A., MENEGHETTI U., *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine*, Vol. I e II, ed. Pàtron, Bologna.

Dispense redatte dal docente.

#### **Modalità di esame**

Prova orale.

#### **Propedeuticità consigliate**

Meccanica applicata alle macchine

Meccanica degli azionamenti

### **MECCANICA COMPUTAZIONALE DELLE STRUTTURE**

**BO, cds: D, C**

Docente: **Francesco Ubertini** prof. ass.

L'Insegnamento è una introduzione ai metodi di calcolo delle strutture orientati all'elaborazione automatica, con riguardo agli aspetti concettuali, formali e operativi. Finalità specifica dell'insegnamento è rendere gli allievi idonei a procedere alla modellazione e alla analisi computazionale di problemi strutturali correnti, autonomamente o mediante l'impiego di codici di calcolo esistenti, e a interpretarne criticamente i risultati.

#### *Programma*

Analisi matriciale dei sistemi di travi in regime elastico lineare col metodo degli spostamenti. Strutture intelaiate piane e spaziali. Suddivisione e modellazione della struttura. Matrice di rigidezza e vettore dei carichi nodali equivalenti di una trave. Assemblaggio della struttura e imposizione delle condizioni di vincolo. Proprietà e procedure di risoluzione del sistema algebrico risolvibile. Determinazione delle sollecitazioni. Problemi specifici: nodi di estensione finita, vin-

coli interni, vincoli elasticamente cedevoli, nodi semirigidi, strutture intelaiate con solai indeformabili nel proprio piano.

La costruzione della matrice di rigidezza e del vettore dei carichi nodali equivalenti di una trave: la procedura diretta, l'impiego del principio dei lavori virtuali complementare, la modellazione del campo di spostamenti e l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

Aspetti formali dei problemi strutturali in campo elastico lineare. Le formulazioni agli spostamenti: operatoriale, variazionale (principio dei lavori virtuali) e di minimo (principio della minima energia potenziale totale). Proprietà e applicazioni ai casi dei più comuni modelli strutturali (travi rettilinee, lastre piane caricate nel proprio piano, lastre piane inflesse).

Metodi variazionali diretti, generalità. Il metodo di Galerkin, il metodo di Rayleigh-Ritz. Il metodo degli elementi finiti agli spostamenti.

La modellazione per elementi finiti delle travi rettilinee, delle lastre piane caricate nel piano, delle lastre inflesse spesse (alla Mindlin) e sottili (alla Kirchhoff), dei solidi tridimensionali. Vari tipi e famiglie di elementi finiti, la rappresentazione isoparametrica. Applicazioni.

Problemi di dinamica strutturale e di non-linearità geometrica: alcuni cenni.

### Esercitazioni

L'insegnamento è integrato da esercitazioni al computer comprendenti lo svolgimento di temi assegnati e l'analisi di problemi strutturali mediante codici di calcolo professionali di impiego corrente.

### Testi Consigliati

Durante lo svolgimento dell'insegnamento vengono indicati articoli su riviste o capitoli di libri, utili per l'approfondimento degli argomenti trattati.

M. CAPURSO, *Introduzione al Calcolo Automatico delle Strutture*, Ed. Cremonese, Roma, 1977.  
G.A. BREBBIA, J.J. CONNOR, *Fondamenti del Metodo degli Elementi Finiti*, Clup, Milano, 1978.  
K.J. BATHE, E.L. WILSON, *Numerical Methods in Finite Element Analysis*, Prentice-Hall, Inc., 1976.

O. ZIENKIEWICZ, *The Finite Element Method in Engineering Science*, McGraw-Hill, 1977.  
E. HINTON, D.R.J. OWEN, *An Introduction to Finite Element Computations*, Pineridge Press, Swansea, U.K., 1979.

## MECCANICA DEGLI AZIONAMENTI I

FO, cds: dum, clm

Docente: Umberto Meneghetti prof. ord.

### 1. INTRODUZIONE

Gli azionamenti. Scelta del motore in base alla potenza. Accoppiamento motore-utilizzatore. Caratteristica meccanica. Funzionamento a regime. Transitorio di avviamento. Riduzione delle masse. Il problema della regolazione della velocità angolare.

### 2. TRASMISSIONI E AZIONAMENTI MECCANICI

Giunti: Classificazione; giunti rigidi; giunto di Cardano; giunti mobili omocineticici: piano omocinetico, coppie secondarie; giunti flessibili; giunti torsionalmente cedevoli. Allineamento degli alberi; misura del disallineamento. Innessi: lavoro dissipato nella fase di innesto; innessi a frizione; transitorio di innesto; giunto idraulico. Frenatura: transitorio di arresto; calcolo del mo-



mento frenante; energia dissipata. Trasmissioni con cinghie, con catene, con ruote dentate. Rotismi ordinari ed epicicloidali. Cambi. Motoriduttori: scelta di un motoriduttore; esempi. Variatori meccanici continui: scelta di un motovariatore; esempio. La progettazione del movimento; definizione della legge di moto. Camme e sistemi a camme. Meccanismi per moto intermittente. Meccanismi a ruota libera. Meccanismi a croce di Malta. Meccanismi per moto rettilineo. Viti a ricircolazione di sfere. Modellazione elastodinamica di una trasmissione con viti a ricircolazione di sfere. Azionamenti oleoidraulici: caratteristiche fondamentali; componenti delle trasmissioni idrostatiche; pompe e motori idraulici a ingranaggi, a palette, a pistoni assiali; cilindri idraulici; schemi dei circuiti; regolazione.

### 3. SISTEMI DI CONTROLLO

Introduzione. Cenni storici. Regolazione diretta e con retroazione. Confronto ed esempi. Caratteristiche dei sistemi di controllo. Schemi a blocchi. Dinamica dei sistemi. Sistemi a parametri concentrati ed equazioni differenziali ordinarie. Risposta all'impulso e al gradino di un sistema del 1° e del 2° ordine. EDO. Trasformata di Laplace. Funzione di trasferimento. Esempi di sistemi meccanici ed elettromeccanici. Rappresentazioni della funzione di trasferimento. Poli e zeri.

I sistemi di controllo. Semplificazione degli schemi a blocchi. Stabilità. Errori e tipi di sistemi. Specifiche nel dominio del tempo. Analisi di Bode. Risposta in frequenza. Specifiche nel dominio della frequenza. Proprietà dei diagrammi di Bode. Diagrammi di Bode per alcune funzioni tipiche. Relazione fase-guadagno. Stabilità. Margine di fase e margine di guadagno. Componenti dei sistemi di controllo. Cenni su alcuni componenti: potenziometro, encoder, dinamo tachimetrica.

Cenni sulla sintesi dei sistemi di controllo. Regolatori standard.

## MECCANICA DEI FLUIDI

BO, cds: M

Docente: Alberto Lamberti prof. ord.

L'Insegnamento ha lo scopo di impartire le nozioni fondamentali necessarie per affrontare vari problemi di meccanica dei liquidi, che possono avere importanza nell'esercizio di ogni ramo dell'ingegneria.

Nell'Insegnamento si impartiscono alla fine di utilizzazioni pratiche, le nozioni di meccanica tecnica dei liquidi.

Invarianza delle grandezze fisiche rispetto al riferimento: scalari, vettori e tensori.

Invarianza rispetto al sistema di misura.

Lemma di Green, teorema della divergenza e teorema del rotore.

Statica dei fluidi, equazioni di equilibrio, tensore degli sforzi. Leggi di Stevin, di Pascal e di Archimede. Forze esercitate da liquidi in quiete su superfici, statica dei galleggianti.

Cinematica di un mezzo continuo deformabile, descrizione Lagrangiana ed Euleriana, rappresentazione Euleriana della derivata totale. Traiettorie, linee di corrente, linee di fumo; vorticità; moti irrotazionali e potenziale di velocità.

Teorema del trasporto. Equazioni cardinali del moto e di continuità.

Equazioni costitutive, modelli reologici dei fluidi reali. Fluido perfetto e barotropico. Fluidi viscosi Newtoniani e non Newtoniani.

Dinamica dei fluidi perfetti e barotropici. Equazioni di Euler. Teoremi di Bernoulli e Helmholtz. Equazioni di Navier-Stokes.

Correnti gradualmente variate. Azioni dinamiche di una corrente su superfici solide fisse e mobili. Perdite di carico. Foronomia. Azione della corrente sui condotti. Principi di funzionamento delle macchine idrauliche; turbina Pelton, macchine a reazione, pompa centrifuga.

Resistenza al moto in moto uniforme. Moto turbolento. Equazioni del moto medio per un flusso turbolento. Modelli della turbolenza. Distribuzione logaritmica delle velocità, esperienze di Nikuradse ed analisi dimensionale. Formula di Colebrook e formule empiriche.

Problemi di verifica per le reti di condotte. Descrizione del comportamento ed analisi di casi emblematici: circuiti semplici, reti di condotte, sifoni, impianti con pompe e turbine.

Problemi di progetto per le reti di condotte. Reti di condotte ed impianti prementi di costo minimo.

Moto vario nelle condotte. Oscillazioni di massa e colpo d'ariete. Manovre in condotte di derivazione da serbatoi ed in impianti prementi. Oscillazioni di massa: pozzo piezometrico, cassa d'aria.

Correnti a pelo libero. Carico specifico, spinta totale, corrente critica. Risalto idraulico. Stramazzi, canale Venturi, singolarità nel canale. Progetto di canali in moto uniforme. Misure di velocità e portata, scala di deflusso.

Moto vario nelle correnti a pelo libero. Teoria delle caratteristiche. Domini di influenza e dipendenza. Esempi, crollo di una diga, formazione e velocità di propagazione di un eventuale risalto. Onde di piena.

Analogia e corrispondenza terminologica fra correnti a pelo libero e correnti intubate di fluidi comprimibili.

Moto di un fluido attorno ad un corpo. Cenni di teoria della portanza. Strato limite e resistenza di attrito, distacco di vena e resistenza di scia.

#### *Testi consigliati:*

E. MARCHI & A. RUBATTA, *Meccanica dei Fluidi*, Ed. Hoepli.

A. GHETTI, *Idraulica*, Ed. Cortina, Padova.

STREETER, *Fluid mechanics*, McGraw Hill student Ed.

PH. M. GERHART & R.J. GROSS, *Fundamentals of fluid mechanics*, Addison Wesley Ed.

#### *Esercitazioni e verifiche infra-annuali*

Durante l'anno verrà svolto un corso di esercitazioni ed alcune verifiche infra-annuali. Le verifiche consistono nello svolgimento di esercizi in forma scritta che saranno poi corretti in aula. Il raggiungimento della sufficienza in tutte le prove e la presentazione di un quaderno contenente tutti gli esercizi correttamente svolti, costituisce titolo per il giudizio finale d'esame.

#### *Esami orali.*

*Tesi di laurea:* Problemi di interazione fra correnti e mezzi granulari.

## **MECCANICA DEI FLUIDI L**

**FO, cds: clm**

Docente: **Irene Daprà** prof. ass.

Caratteristiche meccaniche e termodinamiche dei fluidi.

Analisi dimensionale.

Statica dei fluidi. Forze esercitate contro superfici piane e gobbe. Equilibrio e stabilità dell'equilibrio per corpi immersi e galleggianti.

Moti rigidi.

Cinematica dei fluidi. Derivata sostanziale. Traiettorie, linee di corrente, linee di fumo.

Equazioni cardinali, indefinite e globali di continuità e del moto.

Schema di fluido ideale. Equazione di Euler. Teorema di Bernoulli. Foronomia. Correnti e vene rettilinee.

Equazioni costitutive e meccaniche dei fluidi viscosi. Esempi di moto di fluidi viscosi. Cenni sulla teoria della lubrificazione.

Moto laminare e moto turbolento. Moto turbolento uniforme in condotta.

Perdite di carico distribuite e localizzate. Variazioni di sezione della condotta.

Progetto e verifica di una condotta. Impianti a gravità e impianti prementi. Pompe in serie e pompe in parallelo. Reti di condotte.

Azioni dinamiche di una corrente.

Moto vario nelle condotte. Manovre in condotte di derivazione da serbatoi.

*Testi consigliati:*

MARCHI - RUBATTA, *Meccanica dei fluidi*. Utet.

CITRINI - NOSEDA, *Idraulica Editrice*. Ambrosiana Milano.

**MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO L**

**BO, cds: R**

Docente: **Paolo Macini** prof. ass.

Le georisorse fluide; richiami alla geologia dei serbatoi di fluidi del sottosuolo. Le acque sotterranee, gli idrocarburi ed i fluidi endogeni. Cenni alle principali nozioni di idrogeologia. Stima dei bilanci idrogeologici e relative misure. Bacini idrologici, idrogeologici, acquiferi. Identificazione idrodinamica degli acquiferi. Cenni ai giacimenti di idrocarburi e di fluidi endogeni.

Nozioni di petrofisica dei mezzi porosi. Concetti di porosità, granulometria, superficie specifica, saturazione, pressione capillare. La comprimibilità dei mezzi; coefficiente di immagazzinamento. Volumi rappresentativi, significatività statistica e concetti di omogeneità e di isotropia. La permeabilità e la legge di Darcy; equazioni del moto monofasico; equazioni del moto polifasico di fluidi immiscibili. Cenni al problema delle permeabilità relative. Misure di laboratorio per la stima dei parametri petrofisici dei mezzi porosi.

Studio delle equazioni del flusso isoterma nelle falde artesiane. Risoluzioni analitiche dei casi semplici. Soluzione di Theis nel caso di moto vario. Studio delle equazioni del flusso isoterma nelle falde freatiche. Risoluzioni analitiche dei casi semplici. Introduzione ai modelli numerici per lo studio del moto dei fluidi nel sottosuolo. Caratteristiche idrogeologiche delle falde; misure in sito, su carote e log di pozzo. Cenni alle prove di falda per la stima della trasmissività e del coefficiente di immagazzinamento nelle falde acquifere artesiane. Teoria del cuneo salino.

Studio degli acquiferi destinati al prelievo di acqua dolce per uso civile, agricolo ed industriale. Problemi di gestione, difesa contro l'inquinamento e protezione del territorio. Subsidenza connessa alla produzione di fluidi del sottosuolo. La geotermia. Comportamento dei fluidi geotermici nel sottosuolo. Utilizzo dei fluidi geotermici ad alta e bassa entalpia.

ESAMI: orali

*Testi consigliati*

CASTANY, G., *Idrogeologia: principi e metodi*, Palermo, 1985.

DRISCOLL F.G., *Groundwater and Wells*, St. Paul, Minnesota, 1986.

CHIESA, G., *Idraulica delle acque di falda*, Palermo, 1984.

BOWEN, R., *Ground Water*, London, 1980.

MACINI, P., MESINI, E., *Alla ricerca dell'energia: metodi di valutazione delle georisorse fluide*, Bologna, 1998.

EDWARDS L.M. & AL. (Editors), *Handbook of geothermal energy*, 1982.

POLAND J.F. (Editor), *Guidebook to studies of land subsidence due to ground water withdrawal*, Paris, 1984.

## MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO

BO, cds: R, Q

Docenti: **Giovanni Brighenti** prof. ord.

L'Insegnamento è articolato in due parti. Nella prima vengono fornite le nozioni di base per lo studio unitario del moto dei fluidi nel sottosuolo.

La seconda fornisce le basi per lo studio degli acquiferi destinati al prelievo delle acque per uso civile, agricolo ed industriale con particolare riguardo alla loro gestione razionale, alla loro difesa dall'inquinamento ed alla protezione del territorio.

### Prima parte

1 - Caratteristiche dei fluidi presenti nel sottosuolo. Caratteristiche del mezzo poroso. Il sistema matrice rocciosa-gas-liquidi. Leggi del moto nei mezzi porosi. Equazioni del moto monofasico. Equazioni del moto polifase di fluidi immiscibili.

2 - Trasporto di sostanze solubili.

3 - Moto nelle rocce fratturate e poroso-fratturate.

4 - Introduzione ai modelli numerici.

### Seconda parte

1 - Elementi di idrogeologia. Prospezioni idrogeologiche.

2 - Criteri per la gestione razionale degli acquiferi.

3 - Subsidenza da emungimento di fluidi sotterranei.

4 - Inquinamento degli acquiferi. Criteri per la protezione delle acque sotterranee da sostanze solubili e da liquidi parzialmente solubili, ma formanti fase separata (NAPL).

*Esami:* orali.

### Bibliografia

Appunti del docente (fotocopie)

BEAR J., BACHMAT Y. (1990): *Introduction to Modelling of Transport Phenomena in Porous Media*, Kluwer Academic Publ., Dordrecht, pp. 553.

BEAR J, CHING-FU TSANG & DE MARSILY G. (ed.) (1993) *Flow and Contaminant Transport in fractured Rock* Academic Press, inc San Diego.

CHARBENEAU & AL.- *Groundwater Remediation*, vol 8 (Technomic Publishing Co. Inc.

CERBINI G. (1992) *Il manuale delle acque sotterranee*. GEO-GRAPH s.n.c., Segrate.

CHIESA G. (1994) *Idraulica delle acque di falda*. Dario Flaccovio Ed., Palermo.

CONCAWE (1979): *Protection of Groundwater from Oil Pollution*, Rep. 3/79, Concauwe, Den Haag, pp. 61.

- CONCAWE (1983): *A Field Guide to Inland Oil Spill Clean-up Techniques*, Rep. 10/83, Concawe, Den Haag, pp. 104.
- CONCAWE (1990): *European Soil and Groundwater Legislation: Implications for the Oil Refining Industry*, Rep. 4/90, Concawe, Brussels, pp. 62.
- DE FRAJA FRANGIPANE E., ANDREOTTOLA G., TATANO F. (1994): *Recenti sviluppi nel settore dei criteri di qualità dei suoli*, p 1, 2, *Ingegneria Ambientale*, 23, pp. 246-262 and 346-360.
- DI MOLFETTA A. (1995) *Determinazione delle caratteristiche idrodinamiche degli acquiferi e produttive dei pozzi mediante prove di pompaggio*. IGEA n. 4.
- DRISCOLL F.G. (1989) *Groundwater and wells*. Johnson Filtration Systems Inc., St. Paul, Minnesota.
- GENETIER B. (1993) *La pratica delle prove di pompaggio in idrogeologia*. Dario Flaccovio Ed., Palermo.
- KINZELBACH - GROUNDWATER MODELING (Elsevier, 1986) Lancaster, 1992, ecc.).
- KOBUS H., BARCZEWSKI B., KOSCHITZKY H-P eds. (1996): *Groundwater and Subsurface Remediation*, Springer, Berlin, pp. 337.
- KRUSEMAN G.P. & DE RIDDER N.A. (1983) *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.
- P. NOWAK (Editor), *Development in Hydraulic Engineering*, vol. 4. Elsevier, New York.
- RUSSELL D.L. (1992): *Remediation Manual for Petroleum-Contaminated Sites*, Technomic, Lancaster, pp.175.
- TESTA S.M., WINEGARDNER D.L. (1991): *Restoration of Petroleum-Contaminated Aquifers*, Lewis, Chelsea, pp. 269.
- WALTON W.C. (1989) *Groundwater Pumping tests. Design & Analysis*. Lewis Publishers, Chelsea.
- WALTON W.C. (1984): *Handbook of Analytical Ground Water Models*. International Ground Water Models Center, Indianapolis.
- YONG R.N., MOHAMED A.M.O., WARKENTIN B.P. (1992): *Principles of Contaminant Transport in Soils*, Elsevier, Amsterdam, pp. 327.

## MECCANICA DEI MATERIALI L

BO, cds: E

Docente: Lino Sciortino ric.

L'insegnamento si propone di fornire i concetti di base delle meccanica dei materiali, le metodologie per l'analisi strutturale, per la progettazione e/o verifica di elementi strutturali.

*Richiami di statica*: forze concentrate e distribuite; operazioni sulle forze.

*Richiami di "Geometria Delle Masse"*.

*Il corpo rigido vincolato*: elementi di analisi cinematica e statica per la definizione di labilità, isostaticità ed iperstaticità.

*La trave*: definizione; l'ipotesi di rigidità nello studio delle travi; i vincoli; i carichi e le reazioni; l'azione interna e la curva delle pressioni; strutture isostatiche; strutture iperstatiche (cenni).

*Meccanica dei solidi*: definizione di tensioni e deformazioni; direzioni principali e componenti principali (di tensione e di deformazione).

*Il solido elastico*: le ipotesi fondamentali; la legge di Hooke; il lavoro di deformazione.

*I materiali*: materiali duttili e materiali fragili; criteri di crisi; criteri di sicurezza.

*Analisi delle sollecitazioni nelle travi*: postulato di Saint-Venant; sforzo assiale; flessione; pressoflessione; torsione e taglio; le verifiche di sicurezza.

*Cenni relativi al fenomeno della "fatica"*

*Cenni relativi al "carico di punta".*

**Testi consigliati:**

Appunti delle lezioni.

Verranno forniti ausili didattici da fotocopiare.

**Esame:** orale.

## **MECCANICA DEI ROBOT**

**FO, cds: cIm**

Docente: **Vincenzo Parenti Castelli** prof. ord.

1. **ORIGINE E STORIA DEI ROBOT.** Introduzione. Origini. Stato attuale della robotica. Classificazione generale dei robot. Obiettivo della robotica industriale. Problematiche di studio della robotica industriale.
2. **STRUTTURA E CARATTERISTICHE GENERALI DEI ROBOT.** Introduzione. Configurazione base di un robot. Il manipolatore. Il controllo. Sensori. Caratteristiche generali di un robot industriale.
3. **MATRICI DI TRASFORMAZIONE DELLE COORDINATE.** Introduzione. Posizione e orientamento di un corpo rigido e sistemi di riferimento. Matrici per la trasformazione delle coordinate. Rotazioni e traslazioni. Trasformazioni omogenee.
4. **CINEMATICA DEI MANIPOLATORI.** Introduzione. Modello cinematico di un manipolatore. Matrici di Denavit-Hartenberg e Litvin. Equazioni cinematiche. Gradi di libertà. Problema cinematico diretto, problema cinematico inverso. Relazioni differenziali del moto. Modello cinematico del moto istantaneo. Rotazioni e traslazioni infinitesime. Jacobiano di un manipolatore. Determinazione analitica dello jacobiano. Calcolo numerico dello jacobiano. Singolarità. Cinematica inversa: risoluzione delle velocità. Manipolatori con gradi di libertà ridondanti: soluzione ottimale (cenni).
- 4a. **MANIPOLATORI PARALLELI.** Analisi cinematica diretta.
5. **STATICA DEI MANIPOLATORI.** Introduzione. Analisi delle forze e dei movimenti. Bilanciamento di forze e momenti (cenni).
6. **DINAMICA DEI MANIPOLATORI.** Introduzione. Accelerazione di un corpo rigido. Formulazione delle equazioni del moto (Newton-Euler). Equazioni dinamiche in forma chiusa. Formulazione iterativa delle equazioni del moto. Interpretazione fisica delle equazioni dinamiche. Problema dinamico diretto. Problema dinamico inverso.
7. **GENERAZIONE DELLA TRAIETTORIA.** Introduzione. Considerazioni generali sulla generazione e descrizione della traiettoria. Generazione della traiettoria nello spazio dei giunti e nello spazio cartesiano. Programmazione della traiettoria usando il modello dinamico (cenni).
8. **CONTROLLO DI POSIZIONE DEI MANIPOLATORI.** Metodo della coppia calcolata (cenni).
9. **ATTUATORI DEI ROBOT INDUSTRIALI E TRASMISSIONE DEL MOTO.** Introduzione. Attuatori elettrici, pneumatici e idraulici (cenni). Riduttori harmonic-drive.

### **Esercitazioni:**

- 1) Analisi di posizione inversa del PUMA
- 2) Analisi di posizione del meccanismo parallelo di tipo 6-6.
- 3) Elementi di dinamica

- 4) Dinamica di un manipolatore 2R spaziale
- 5) Generazione della traiettoria

**Testi consigliati:** verranno messi a disposizione Appunti dalle lezioni tenute dal Prof. Parenti Castelli e copia delle esercitazioni, oltre che un elenco di testi, prevalentemente in lingua inglese, per eventuali approfondimenti della materia.

## MECCANICA DEI ROBOT

BO, cds: M

Docente: Vincenzo Parenti Castelli prof. ord.

L'Insegnamento si propone di fornire agli allievi gli strumenti necessari per l'analisi dei robot sia dal punto di vista teorico e sia dal punto di vista funzionale e applicativo.

In particolare vengono forniti gli strumenti di base per la definizione dei modelli matematici del manipolatore del robot e la definizione degli algoritmi fondamentali con i quali affrontare l'analisi cinematica, statica e dinamica del sistema robot(izzato). Vengono inoltre forniti gli strumenti per potere condurre la simulazione del sistema robotico, necessaria sia per la programmazione del robot sia per la sintesi degli algoritmi di controllo.

1. *Origini e storia dei robot.* Introduzione. Origini. Stato attuale della robotica. Classificazione generale dei robot. Obiettivo della robotica industriale. Problematiche di studio della robotica industriale.

2. *Struttura e caratteristiche generali dei robot.* Introduzione. Configurazione base di un robot. Il manipolatore. Il controllo. Sensori. Caratteristiche generali di un robot industriale.

3. *Matrici di trasformazione delle coordinate.* Introduzione. Posizione e orientamento di un corpo rigido e sistemi di riferimento. Matrici per la trasformazione delle coordinate. Rotazioni e traslazioni. Trasformazioni omogenee.

4. *Cinematica dei manipolatori.* Introduzione. Modello cinematico di un manipolatore. Matrici di Denavit-Hartenberg e Litvin. Equazioni cinematiche. Gradi di libertà. Problema cinematico diretto. Problema cinematico inverso. Relazioni differenziali del moto. Modello cinematico del moto istantaneo. Relazioni differenziali. Rotazioni e traslazioni infinitesime. Jacobiano di un manipolatore. Determinazione analitica dello jacobiano. Calcolo numerico dello jacobiano. Singolarità. Cinematica inversa: risoluzione della velocità. Manipolatori con gradi di libertà ridondanti: soluzione ottimale.

5. *Statica dei manipolatori.* Introduzione. Analisi delle forze e dei momenti. Bilanciamento di forze e momenti.

6. *Dinamica dei manipolatori.* Introduzione. Accelerazione di un corpo rigido. Formulazione delle equazioni del moto (Newton-Euler). Equazioni dinamiche in forma chiusa. Formulazione iterativa delle equazioni del moto. Interpretazione fisica delle equazioni dinamiche. Problema dinamico diretto. Problema dinamico inverso.

7. *Generazione della traiettoria.* Introduzione. Considerazioni generali sulla generazione e descrizione della traiettoria. Programmazione della traiettoria usando il modello dinamico.

8. *Controllo di posizione dei manipolatori.* Introduzione. Controllo di una massa ad un grado di libertà. Sistemi non lineari e tempo-varianti. Il problema del controllo per i manipolatori. Sistemi di controllo degli attuali robot industriali. Controllo adattivo.

9. *Controllo di forza dei manipolatori.* Introduzione. Applicazione dei robot industriali a compiti di assemblaggio. Sensori di forza. Problema del controllo ibrido di forza e posizione. Schemi di controllo degli attuali robot.

10. *Linguaggi e sistemi di programmazione dei robot*. Introduzione. I livelli di programmazione del robot. Requisiti di un linguaggio di programmazione.

11. *Attuatori dei robot industriali e trasmissione del moto*. Introduzione. Attuatori elettrici. Attuatori pneumatici. Attuatori idraulici. Riduttori harmonic-drive e altri. Elementi costruttivi delle coppie cinematiche.

12. *Criteri di impiego dei robot industriali*. Introduzione. Valutazione economica dell'impiego del robot industriale. Inserimento del robot nel processo produttivo. Casi di applicazione relativi ad operazioni di montaggio, di manipolazione e a processi tecnologici di lavorazione.

L'Insegnamento prevede alcune *esercitazioni* rivolte sia all'implementazione su calcolatore di algoritmi elaborati dagli studenti, sia ad attività di laboratorio condotte utilizzando i robot disponibili del Dipartimento.

#### Nota

Agli allievi dell'Insegnamento è data la possibilità di svolgere, oltre alle esercitazioni sopra indicate, brevi tesi attinenti all'insegnamento stesso. Tali tesi potranno eventualmente venire sviluppate come tesi di laurea.

Degli argomenti sviluppati durante l'insegnamento viene data ampia bibliografia.

*Esame*: scritto e orale.

*Propedeuticità consigliata*: Meccanica applicata alle macchine.

*Tesi di laurea*: prevalentemente sperimentali, ma anche numeriche o compilative, su argomenti trattati nell'insegnamento o su argomenti affini.

## MECCANICA DELLE MACCHINE L

BO, cds: E

Docente: Giuseppe Catania prof. ass.

### Argomenti

- 1. Macchine e meccanismi.** Definizioni. Modello meccanico. Analisi cinematica e dinamica. Gradi di libertà (gdl). Rendimento meccanico. Moto diretto e retrogrado.
- 2. Analisi cinematica di meccanismi piani.** Modello cinematico: membri rigidi, coppie cinematiche elementari. Metodi analitici per l'analisi di posizione, velocità ed accelerazione. Il manovellismo di spinta. Il quadrilatero articolato. Applicazioni su modelli a catena chiusa, a catena aperta e misti.
- 3. Analisi statica di meccanismi piani.** Le equazioni cardinali della statica. Modelli a membro libero. Reazioni vincolari nelle coppie cinematiche elementari. Effetto dell'attrito Coulombiano e di rotolamento. Usura. Metodi diretti analitici e grafici per l'analisi statica. Statica elementare dei veicoli su ruote. Principio di sovrapposizione degli effetti. Metodi energetici: il principio dei lavori virtuali. Influenza di vincoli elastici lineari.
- 4. Meccanica delle vibrazioni.** Modello a parametri concentrati. Riduzione a modelli ad un gdl. Vibrazioni libere. Frequenza naturale  $f_n$  e rapporto di smorzamento  $\zeta$ . Vibrazioni forzate. Isolamento dalle vibrazioni. Progetto di sospensioni e fondazioni. Massa sismica e misura delle vibrazioni. Determinazione sperimentale di  $f_n$  e  $\zeta$ . Smorzatore dinamico di vibrazioni.
- 5. Componenti ed organi di macchina.** Freno a ceppi flottanti. Ipotesi di Reye. La coppia rotoidale di spinta. Freni a disco, Freni ed innesti a frizione conici. Macchine di sollevamento.



- Trasmissione del moto mediante cinghie piate e trapezoidali. Freni a nastro. Ingranaggi: analisi cinematica e profili ad evolvente. Rapporto di trasmissione, proporzionamento modulare. Ingranaggi cilindrici a denti diritti ed elicoidali, ingranaggi conici, ingranaggio a vite e ruota elicoidale (cenni). Taglio delle dentature (cenni). Forze trasmesse nelle dentature. Rotismi ordinari e planetari. Formula di Willis. Differenziale per trazione automobilistica. Giunti rigidi e flessibili; innesti. Giunto di Cardano: analisi cinematica. Cuscinetti volventi. Cuscinetti volventi. Rotori: velocità critiche dei rotorii flessibili; equilibratura di rotorii rigidi.
6. **Convenzioni e normative unificate del disegno meccanico.** Rappresentazione delle viste principali. Scelta delle viste. Viste in sezione., sezioni locali. Quotatura di particolari meccanici. Rappresentazione di tolleranze dimensionali e geometriche, e della rugosità delle superfici. Rappresentazione unificata delle filettature, delle rupte dentate, di profili scanalati. Collegamenti.

#### Riferimenti bibliografici:

- E. FUNAIOLI, A. MAGGIORE, U. MENEGHETTI, *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine*, Patron, Bologna, 1987, vol. I, II.
- B. PAUL, *Kinematics and Dynamics of planar machinery*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. USA, 1979.
- S. DOUGHTY, *Mechanics of Machines*, J. Wiley, New York, USA, 1988.
- C. E. WILSON, J. P. SADLER, W. J. MICHELS, *Kinematics and Dynamics of Machinery*, Harper and Row, New York, USA, 1983.
- W.T. THOMSON, *Theory of vibration with applications*, Chapman & Hall, London, UK, IV ed., 1993.
- M.L. JAMES, G.M. SMITH, J.C. WOLFORD, P.W. WHALEY, *Vibration of Mechanical and Structural Systems*, Harper & Row, NY, USA, 1989.
- SKF, *I cuscinetti volventi, quaderno SKF 1335-I*, Torino, 1989 (disponibili gratuitamente su prenotazione).
- M. GRISERI, SKF, *Elementi di meccanica delle trasmissioni: calcolo degli sforzi sui supporti, quaderno SKF 1160-I*, Torino 1996 (disponibili gratuitamente su prenotazione).
- Manoscritti integrativi redatti dal docente.

## MECCANICA DEI SOLIDI I

BO, cds: Q

Docente: Giovanni Pascale prof. ass.

### 1 STATICA E CINEMATICA DEI SISTEMI RIGIDI

Richiami di statica. Composizione e decomposizione di sistemi piani di forze. Proprietà statiche e cinematiche dei vincoli. Statica del corpo rigido, delle travi e dei sistemi piani di travi. Studio analitico e grafico delle strutture isostatiche. Caratteristiche della sollecitazione nelle travi. Strutture reticolari piane: studio attraverso i metodi dell'equilibrio dei nodi e delle sezioni di Ritter.

### 2 GEOMETRIA DELLE MASSE

Sistemi piani di masse concentrate e distribuite. Studio delle proprietà geometriche e inerziali delle sezioni piane. Baricentro, momenti statici e momenti del secondo ordine. Assi e momenti principali d'inerzia. Ellisse centrale d'inerzia. Antipolarità d'inerzia.

### 3 LA TRAVE CARICATA ASSIALMENTE

Studio dello stato di tensione e di deformazione. Lavoro di deformazione. Elasticità. Elasti-

cità lineare. Materiali isotropi: leggi di Hooke. Modulo di Young e coefficiente di Poisson.

#### **4 LA TRAVE INFLESSA**

Flessione retta. Tensioni (formula di Navier), deformazione dell'asse e della sezione, deformazione del concio elementare (legame momento-curvatura). Rigidezza flessionale.

Flessione deviata e sforzo normale eccentrico. Determinazione analitica e grafica dell'asse neutro. Distribuzione della tensione normale sulla sezione.

#### **5 STRUTTURE DEFORMABILI**

Determinazione dell'equazione della linea elastica per travi semplici. Il Principio dei Lavori Virtuali (PLV) per il calcolo di componenti di spostamento in strutture isostatiche. Composizione cinematica degli spostamenti. Risoluzione di semplici strutture iperstatiche attraverso il metodo delle forze e il PLV. Strutture simmetriche e antisimmetriche.

#### **6 LA TRAVE SOGGETTA A SOLLECITAZIONI DIVERSE**

La trave soggetta a torsione. Analogia idrodinamica. Sezione circolare, sezione rettangolare, sezioni sottili aperte e chiuse.

La trave soggetta a taglio e flessione. Trattazione approssimata di Jourawsky.

#### **7 MATERIALI E SPERIMENTAZIONE**

Materiali duttili e fragili. Acciai e calcestruzzi: classificazione e legami costitutivi. Sperimentazione dei materiali e delle strutture: macchine di prova, procedure sperimentali e strumentazione per la misura di forze, spostamenti e deformazioni, con applicazione pratica in laboratorio.

#### **8 SICUREZZA STRUTTURALE**

Criteri di crisi per stati di tensione pluriassiali: cenni.

Dimensionamento e verifica di resistenza di travi soggette a sollecitazioni semplici e composte, col metodo delle tensioni ammissibili.

#### **9 INSTABILITÀ DELL'EQUILIBRIO ELASTICO**

Impostazione del problema. L'asta di Eulero. Il metodo Omega.

#### *Libri di testo*

PASCALE, *Lezioni di scienza delle costruzioni*, Vol. 1, Esculapio - Progetto Leonardo, Bologna.

PASCALE, DEGLI ESPOSTI, *Lezioni di scienza delle costruzioni*, Vol. 2, Esculapio - Progetto Leonardo, Bologna.

VIOLA, *Esercitazioni di scienza delle costruzioni*, Voll. 1 e 2, Pitagora, Bologna.

PASCALE, *Scienza delle costruzioni: esercizi d'esame svolti*, Esculapio - Progetto Leonardo, Bologna.

#### *Altri testi di riferimento*

DI TOMMASO, *Fondamenti di scienza delle costruzioni*, Patron, Bologna.

CARPINTERI, *Scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna (con esercizi).

VIOLA, *Scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna.

BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, Zanichelli, Bologna.

CAPURSO, *La statica del cemento armato*, Pitagora, Bologna.

CAPURSO, *Lezioni di scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna.

BIGONI, DI TOMMASO, GEI, LAUDIERO, ZACCARIA, *Geometria delle masse*, Esculapio - Progetto Leonardo, Bologna.

Per il comportamento dei materiali e i criteri di crisi si può consultare il testo:

SOLLAZZO - MARZANO, *Scienza delle costruzioni*, Vol. 2, UTET, Torino.

L'instabilità dell'equilibrio elastico è trattata forma estesa in:

PIGNATARO - RIZZI - LUONGO, *Stabilità, biforcazione e comportamento postcritico delle strutture elastiche*, E.S.A., Roma.

CORRADI DELL'ACQUA, *Instabilità delle strutture*, CLUP, Milano.

Saranno resi disponibili le fotocopie dei trasparenti mostrati a lezione (per gli argomenti non trattati nei libri di testo) e dei testi degli esercizi assegnati alle prove scritte.

## MECCANICA DEI SOLIDI E COMPORTAMENTO MECCANICO DEI MATERIALI L (C.I.)

BO, cds: N

Docenti: **Giovanni Pascale**, prof. ass.

**Giangiaco Minak**, ric.

- 1) Geometria delle masse
  - 1.1) proprietà geometriche ed inerziali delle figure piane
- 2) Meccanica dei Solidi Monodimensionali
  - 2.1) sforzo assiale
  - 2.2) flessione
  - 2.3) torsione (sezioni circolari, circolari cave e sottili)
  - 2.4) taglio (casi semplici)
- 3) Analisi delle strutture
  - 3.1) strutture isostatiche
  - 3.2) strutture iperstatiche (casi semplici)
- 4) Criteri di Crisi
- 5) Comportamento dei materiali
  - 5.1) elasticità
  - 5.2) plasticità
  - 5.3) fatica ad alto numero di cicli
  - 5.4) effetti termici
  - 5.5) instabilità dell'equilibrio elastico
- 6) Calcolo di elementi di macchine
  - 6.1) alberi
  - 6.2) recipienti in pressione
  - 6.3) tubi di grosso spessore
  - 6.4) flange imbullonate
  - 6.5) saldature

### Libri consigliati:

- G. PASCALE, *Lezioni di scienza delle costruzioni*, Vol. 1, Esculapio-Progetto Leonardo, Bologna.
- G. PASCALE, DEGLI ESPOSTI, *Lezioni di scienza delle costruzioni*, Vol. 2, Esculapio-Progetto Leonardo, Bologna.
- E. VIOLA, *Esercitazioni di scienza delle costruzioni Voll. 1 e 2*, Pitagora Editrice, Bologna.
- G. PASCALE, *Scienza delle costruzioni: esercizi d'esame svolti*, Vol. 1, Esculapio-Progetto Leonardo, Bologna.
- F.P. BEER, E.R. JOHNSTON JR, *Scienza delle costruzioni-introduzione alla meccanica dei materiali*, McGraw-Hill, Milano.

R. C. JUVINALL, K. M. MARSHEK, *Fondamenti della progettazione dei componenti delle macchine*, ETS, Pisa.

## MECCANICA DEL VOLO L

FO, cds: cla

Docente: Gian Marco Saggiani prof. ass.

### FINALITÀ DEL CORSO

La Meccanica del Volo studia il progetto aeromeccanico, la missione di volo, il controllo manuale e/o automatico, le qualità di volo di veicoli operanti in ambito atmosferico e spaziale. Le competenze del settore riguardano il progetto preliminare, le prestazioni, la stabilità, il controllo, lo studio della traiettoria e le problematiche di interfaccia uomo/macchina. Scopo del corso è introdurre lo studente nei problemi fondamentali della Meccanica del Volo con particolare riferimento alle prestazioni degli aeromobili ed ai concetti fondamentali della stabilità statica. Lo studente, durante il corso, dovrà acquisire un livello sufficiente di conoscenze per affrontare semplici problematiche di natura aeromeccanica.

### PROGRAMMA

#### *Aeronautica generale*

Architettura degli aeroplani e nomenclatura – Controllo dell'aeromobile e definizione di comandi positivi – Atmosfera standard – Velocità dell'aeromobile – Fattore di carico – Diagramma di manovra, raffica e inviluppo di volo

#### *Nozioni di Aeromeccanica*

Terme di riferimento in assi terrestri e assi corpo – Trasformazione fra le terme – Equazioni semplificate del moto – Polare del velivolo – Curve della trazione necessaria la volo – Curve della potenza necessaria al volo

#### *Prestazioni dei velivoli*

Velivoli propulsi a getto: volo livellato, autonomia oraria, autonomia chilometrica, volo quasi livellato, volo su traiettorie di salita – Velivoli propulsi ad elica: volo livellato, autonomia oraria, autonomia chilometrica, volo quasi livellato, volo su traiettorie di salita – Prestazioni su traiettorie di discesa – Manovre di virata – Manovra di decollo – Manovra di atterraggio

#### *Stabilità statica longitudinale*

Equilibrio in beccheggio – Controllabilità longitudinale del velivolo – Rigidezza in beccheggio a comandi liberi e fissi – Manovrabilità

#### *Stabilità statica latero-direzionale*

Momento di rollio ed imbardata – Rigidezza e controllo in imbardata – Rigidezza e controllo in rollio – Effetti di accoppiamento – Forze e momenti dovuti alle velocità angolari

#### *Libri di testo*

CARLO CASAROSA, *Dispense del corso Meccanica del Volo*, Università di Pisa.  
Dispense del corso

**Libri di approfondimento**

MARTIN E. ESHELBY, *Aircraft performance. Theory and practice*, Butterworth Heinemann.

MARIO ASSELIN, *An introduction to aircraft Performance*, AIAA Educational series.

B. W. McCORMIK, *Aerodynamics, Aeronautics and Flight Mechanics*, John Wiley & Sons, inc.

**Propedeuticità consigliate**

Fisica generale

Meccanica razionale

Fluidodinamica

**Modalità svolgimento esame**

Esame finale orale

**MECCANICA DELLE MACCHINE L**

**BO, cds: M**

Docente: **Umberto Meneghetti** prof. ord.

**Obiettivo:** Fornire le conoscenze di base per l'analisi funzionale delle macchine e dei meccanismi, con particolare riguardo ai problemi di tribologia, cinematica, cinetostatica e dinamica.

**Programma del corso**

**1. Composizione dei meccanismi.** Macchine e loro classificazione. Macchina e meccanismo. Elementi cinematici e coppie cinematiche. Gradi di libertà di un meccanismo nel piano e nello spazio.

**2. Rendimento meccanico.** Forze agenti sui membri di un meccanismo. Lavoro delle forze. Equazione dei lavori. Rendimento meccanico. Rendimento di macchine in serie e in parallelo. Moto retrogrado. Rendimento nel moto retrogrado.

**3. Attrito e usura.** Forze di contatto. Attrito di strisciamento. Lavoro delle forze d'attrito. Leggi dell'attrito. Teoria elementare dell'attrito di strisciamento. Lubrificazione limite. Attrito di rotolamento. Usura. Tipi di usura e leggi dell'usura. L'attrito nelle coppie cinematiche. Coppia prismatica, piano inclinato, coppia rotoidale, coppia elicoidale. Distribuzione delle pressioni di contatto: coppia rotoidale di spinta e coppia rotoidale portante. Applicazioni di elementi rotolanti. Trasporto con rulli. Cuscinetti a rulli: analisi cinematica e distribuzione delle forze sui rulli. Comportamento delle ruote nella locomozione.

**4. Lubrificazione.** Tipi di lubrificazione. Giustificazione della portanza nella lubrificazione idrodinamica e nella lubrificazione fluidostatica.

**5. I sistemi articolati piani.** Applicazioni di cinematica: centro di istantanea rotazione, polari del moto, tracciamento di traiettorie. Analisi cinematica per via grafica del manovellismo di spinta e del quadrilatero articolato. Analisi cinetostatica per via grafica. Analisi cinematica per via analitica dei sistemi articolati. Analisi cinetostatica per via analitica dei sistemi articolati. Esempi di sistemi articolati e loro impieghi particolari. Manovellismo a croce, parallelogrammo articolato, pantografo, tecnografo, ginocchiera. Sintesi grafica del manovellismo di spinta e del quadrilatero articolato.

**6. Ruote dentate.** Tracciamento di profili coniugati. Profili ad evolvente. Proporzionamento delle dentature. Dentiera di riferimento. Arco d'azione e continuità del moto. Interferenza dei profili e condizione di non interferenza. Cenni sulla fabbricazione delle ruote dentate. Generazione per involuppo. Rendimento delle ruote dentate cilindriche a denti dritti. Ruote dentate a denti

elicoidali. Ruote dentate coniche. Coni primitivi. Primitive sferiche. Ruota conico-piana. Procedimento di Tredgold. Trasmissione fra assi sghembi. Coppia vite senza fine – ruota a denti elicoidali. Rotismi ordinari. Rapporto di trasmissione. Rotismi epicicloidali. Formula di Willis.

**7. Organi flessibili.** Gli organi flessibili. Puleggia fissa e puleggia mobile. Paranco. Paranco differenziale. Freni a nastro ordinari e differenziali. Rapporto fra le tensioni nei due rami. Forza necessaria per generare il momento frenante desiderato. Trasmissioni a cinghie piatte. Velocità dei rami di cinghia. Rapporto fra le tensioni nei due rami. Cinghie trapezoidali. Montaggio delle cinghie. Lunghezza della cinghia. Cenni sulla trasmissione a catena.

**8. Dinamica delle macchine.** Azioni d'inerzia risultanti in un membro rigido nel moto piano. Espressione generale dell'energia cinetica di un membro rigido nel moto piano. Dinamica del manovellismo di spinta. Azioni d'inerzia risultanti e loro equilibrio. Regime periodico e grado di irregolarità. Calcolo del momento d'inerzia del volano.

**9. Vibrazioni meccaniche.** Sistemi vibranti e loro modellazione. Vibrazioni libere e forzate di un sistema vibrante smorzato con un solo grado di libertà. Risposta armonica. Eccitazione proporzionale al quadrato della pulsazione. Sospensione di una massa vibrante. Sospensioni sismiche. Sismografo e accelerometro.

**10. Dinamica dei rotori.** Squilibrio statico e dinamico di un rotore. Equilibramento su due piani. Risposta del rotore di Jeffcott allo squilibrio statico. Velocità critica flessionale.

#### *Testo consigliato*

E. FUNAIOLI, A. MAGGIORE, U. MENEGHETTI, *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine*, Vol. I e Vol. II. Pàtron Editore, Bologna.

### **MECCANICA DELLE ROCCE**

**BO, cds: R, C**

Docente: **Amos Paretini** prof. ass.

#### *Finalità dell'Insegnamento:*

Dare agli allievi gli elementi fondamentali di calcolo per valutare con l'ausilio di prove di laboratorio ed in sito le caratteristiche geomeccaniche del materiale roccioso e degli ammassi, lo stato di tensione indotto nel terreno da scavi sotterranei ed a cielo aperto, il grado di stabilità e di resistenza delle varie strutture in roccia.

1. Generalità sulla meccanica delle rocce – La complessità delle rocce dovuta alla diversa composizione chimica e mineralogica ed alla presenza di discontinuità su piccola e grande scale – Distinzione tra materiale roccioso ed ammasso roccioso.

2. La meccanica dei mezzi continui – Analisi delle sollecitazioni attorno ad un punto. Il caso delle sollecitazioni in due dimensioni. Rappresentazione grafica di uno stato piano di tensione mediante i cerchi di Mohr. Le equazioni di equilibrio – Analisi delle deformazioni infinitesimali in due dimensioni. I cerchi di Mohr di deformazione. Le equazioni di compatibilità.

3. Le leggi costitutive del materiale roccioso – Materiale omogeneo, isotropo ed elastico lineare: leggi di Hooke e costanti elastiche – Modelli reologici per materiale omogeneo, isotropo e viscoelastico lineare – Materiale elastoplastico – Materiale perfettamente plastico.

4. Metodi di soluzione analitica dei problemi di meccanica del continuo. La soluzione di problemi elastici piani mediante l'uso della funzione di sollecitazione di Airy in coordinate polari – Il metodo di Greenspan per l'analisi delle sollecitazioni tangenziali al contorno di aperture singole e multiple – Il problema elastoplastico ed i criteri di plasticità. Il caso del tunnel circolare in

roccia elastoplastica con campo di sollecitazione idrostatico.

5. La determinazione in laboratorio delle caratteristiche di resistenza e deformabilità del materiale roccioso – Le prove di compressione monoassiale e triassiale – Prove di taglio diretto – La prova di trazione monoassiale – Le prove di compressione diametrale di dischi ed anelli – Le prove a carico costante – L'influenza del grado di saturazione e della pressione interstiziale sulle caratteristiche di resistenza e deformabilità – L'anisotropia delle rocce – La classificazione del materiale roccioso.

6. I criteri di rottura: il criterio della massima trazione; il criterio del massimo sforzo di taglio; il criterio di Mohr; il criterio di Coulomb-Mohr; il criterio di Griffith.

7. Lo studio dell'ammasso roccioso – I diversi tipi di indagine – La rappresentazione grafica dei dati geologici mediante l'uso di diagrammi stereografici polari ed equatoriali – Gli indici di qualità della roccia – La determinazione delle caratteristiche di deformabilità dell'ammasso con metodi statici e dinamici – La determinazione delle caratteristiche di resistenza dell'ammasso – Le prove di taglio diretto in sito – Le caratteristiche di permeabilità dell'ammasso. I metodi di misura della permeabilità in sito. La misura della pressione neutra con piezometri idraulici a circuito aperto ed a circuito chiuso – La classificazione dell'ammasso roccioso: classificazioni di Terzaghi, di Mueller, di Deere; classificazioni RMR-System di Bieniawski, Q-System di Barton, SMR-System di Romana.

8. La misura dello stato di sollecitazione negli ammassi rocciosi: i metodi dei martinetti idraulici piatti, del deformometro circolare, e delle cellette estensimetriche.

9. I metodi per il calcolo delle strutture in roccia – Applicazione del metodo dell'equilibrio limite nell'analisi di stabilità di scarpate. Effetto dell'acqua in quiete e dell'acqua in moto sulle condizioni di stabilità delle scarpate. Verifiche di stabilità nel caso di superfici di scivolamento piane, a cuneo e circolari. L'uso di diagrammi per le verifiche di stabilità. La localizzazione del centro del cerchio di scivolamento critico e della frattura di tensione critica. Il metodo di Janbu per le verifiche di stabilità in presenza di superfici di scivolamento di forma qualsiasi.

10. La stabilizzazione di strutture in roccia mediante la tecnica del bullonaggio – La stabilizzazione dei pendii in frana mediante il drenaggio delle acque – Il consolidamento di rocce fratturate e di terreni incoerenti mediante la tecnica delle iniezioni – L'impiego dei geotessili in campo geotecnico ed idraulico – Le moderne tecniche bioingegneristiche per il consolidamento, la sistemazione ed il recupero di pareti di scavo in condizioni difficili e di masse rocciose e terrose in franamento.

#### Testi consigliati:

Appunti del Docente.

S.D. WOODRUFF, *Working Coal And Metal Mines*, Vol. I.

OBERT-DUVAL, *Rock Mechanics And The Design Of Structures In Rock*.

C. JAEGER, *Rock Mechanics And Engineering*.

M. PANET, *La Mecanique Des Roches Appliquee Aux Ouvrages Du Genie Civil*.

E. HOEK, J.W. BRAY, *Rock Slope Engineering*.

A.R. JUMIKIS, *Rock Mechanics*.

Z. T. BIENIAWSKI, *Engineering Rock Mass Classification*.

L'esame consiste in una prova orale con richiami ad applicazioni pratiche.

Propedeuticità consigliate: Scienza delle costruzioni, Geologia.

Tesi di laurea: indirizzo teorico ed applicativo.

**MECCANICA DELLE ROCCE I**

BO, cds: R

Docente: **Amos Paretini** prof. ass.

1. Obiettivi della meccanica delle rocce. Tipi di rocce e loro composizione. Fattori naturali influenzanti il comportamento dei materiali rocciosi. Distinzione tra materiale roccioso ed ammasso roccioso.

2. Cenni sull'analisi delle tensioni e delle deformazioni attorno ad un punto. Cerchi di Mohr. Equazioni di equilibrio ed equazioni di compatibilità. Richiami sulla teoria dell'elasticità. Soluzione di problemi elastici piani mediante l'uso della funzione di sollecitazione di Airy in coordinate polari. Distribuzione delle sollecitazioni tangenziali al contorno di aperture singole e multiple in lastra infinita. Comportamento non elastico dei materiali rocciosi. Modelli reologici. Criteri di plasticità. Il caso del tunnel circolare in roccia elastoplastica.

3. Determinazione in laboratorio delle caratteristiche di resistenza e deformabilità dei materiali rocciosi. Modalità esecutive delle prove di compressione monoassiale e triassiale, della prova di trazione monoassiale, della prova "brasiliana", della prova di taglio diretto, delle prove a carico costante. Caratteristiche volumetriche di una roccia. Influenza del grado di saturazione e della pressione interstiziale sulle caratteristiche di resistenza e deformabilità. Sollecitazioni efficaci. Anisotropia delle rocce. Classificazione del materiale roccioso.

4. Criteri di rottura di Tresca, di Mohr, di Coulomb-Mohr e di Griffith.

5. Indagini in sito per lo studio dell'ammasso roccioso. Diagrammi stereografici polari ed equatoriali. Indici di qualità dell'ammasso. Determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità dell'ammasso. Prove di taglio diretto in sito. Determinazione delle caratteristiche di permeabilità dell'ammasso. Misura della pressione neutra. Classificazione dell'ammasso roccioso.

6. Misura dello stato di sollecitazione naturale negli ammassi rocciosi. Metodo dei martinetti idraulici piatti, del deformometro circolare, delle cellette estensimetriche.

7. Applicazioni del metodo dell'equilibrio limite nell'analisi di stabilità di strutture in roccia. Effetti dell'acqua in quiete e dell'acqua in moto. I casi di superfici di scivolamento piane, a cono, circolari e di forma qualsiasi. Uso di diagrammi per le verifiche di stabilità di scarpate e pendii naturali.

*Testi consigliati*

BARLA G., *Meccanica delle Rocce*, vol. I-II.

OBERT L., DUVALL W.I., *Rock Mechanics and the Design of structures in Rock*.

HOEK E., BRAY J.W., *Rock Slope Engineering*.

JUMICHIS A.R., *Rock Mechanics*.

BINIENSKI Z.T., *Engineering Rock Mass Classification*.

**MECCANICA DELLE VIBRAZIONI**

BO, cds: M

Docenti: **Umberto Meneghetti** prof. ord.**Giuseppe Catania** prof. ass.**Alessandro Rivola** prof. ass.

L'insegnamento si propone di introdurre l'allievo allo studio dei problemi di interesse tecnico connessi con le vibrazioni meccaniche. In particolare, vengono prima trattati la modellazione dei sistemi meccanici e i metodi sperimentali per l'analisi delle vibrazioni, e ne vengono illustrate le principali applicazioni tecniche.



## I MODULO (U. MENEGHETTI)

## 1. Sistemi discreti

*Sistemi smorzati ad un solo g.d.l.* Risposta di un sistema del primo e del secondo ordine. Funzione risposta in frequenza. Risonanze. Determinazione dello smorzamento. Metodo di Rayleigh.

*Sistemi a due g.d.l.* Vibrazioni libere. Scrittura matriciale delle equazioni del moto. Considerazioni sulle matrici massa e rigidità. Vibrazioni forzate. Assorbitore dinamico di vibrazioni.

*Sistemi a molti g.d.l.* Vibrazioni libere. Scrittura delle equazioni del moto. matrice massa e matrice rigidità. Autovalori e autovettori. Ortogonalità dei modi propri.

*Analisi modale.* Disaccoppiamento delle equazioni del moto. Analisi modale. Vibrazioni forzate di sistemi non smorzati. Sistemi smorzati. Smorzamento proporzionale.

## 2. Sistemi continui

*Vibrazioni nei sistemi continui.* La corda vibrante. Vibrazioni longitudinali, torsionali e flessionali di aste e travi. Vibrazioni delle membrane.

*Modellazione.* Modelli e parametri concentrati di sistemi continui.

## 3. Misure di vibrazioni

*La catena di misura.* L'accelerometro piezoelettrico. Altri componenti della catena. Il convertitore analogico-digitale. Quantizzazione. Aliasing. Errore di dispersione.

*Analisi del segnale.* Analisi nel dominio del tempo, delle ampiezze, della frequenza. La trasformata di Fourier. Applicazioni: Severità di vibrazione, monitoraggio e diagnostica industriale.

## II MODULO (A. RIVOLA)

## 1. Analisi dei dati

*Segnali deterministici.* Classificazione. Serie di Fourier, Trasformata di Fourier. Trasformata Finita di Fourier, leakage e finestre.

*Elementi di teoria delle probabilità.* Spazio dei campioni ed eventi; Probabilità; Variabile casuale; Funzione probabilità e distribuzione di probabilità; Funzione densità di probabilità; Valore atteso; Momenti di una variabile casuale; Distribuzione normale; Momenti di ordine superiore.

*Processi casuali.* Definizioni e classificazione; Densità di probabilità per un processo stocastico; Valore atteso dell'insieme; Momenti di un processo stocastico; Processi stazionari e non stazionari; Processi ergodici. Covarianza e Correlazione: correlazione incrociata; autocorrelazione. Densità spettrale: Autospettro e Spettro incrociato; Funzione Coerenza; Spettri mediante Trasformata di Fourier; Processi a banda larga e banda stretta.

*Sistemi fisici.* Funzione di Trasferimento e Funzione Risposta in Frequenza (FRF); Sistema Lineare con ingresso casuale; Effetto di errori di misura; Stimatori della FRF.

*Preparazione dei dati.* Generalità. Campionamento. Aliasing. Quantizzazione. Trasformata Discreta di Fourier, Fast Fourier Transform.

*Introduzione all'Analisi Modale Sperimentale.* Generalità. Note e richiami. Schema del procedimento.

## 2. Introduzione a MATLAB e SIMULINK.

## 3. Prove Sperimentali

*Misura di frequenze naturali.* Scelta dei parametri di acquisizione. Eccitazione di una struttura con shaker elettrodinamico e con martello strumentato. Rilievo sperimentale di FRF. Funzione coerenza.

*Analisi modale sperimentale.* Definizione della geometria; rilievo sperimentale delle FRF; animazione delle forme modali.

## 4. Modellazione a Parametri Concentrati di Meccanismi

Il comportamento dinamico dei meccanismi. Modellazione dei meccanismi. Modelli a parametri concentrati: inerzie; rigidità; azioni dissipative; giochi; attrito secco; rigidità di contatto; schiacciamento del lubrificante. Integrazione delle equazioni. La validazione. Impiego del mo-

dello. Impiego di SIMULINK per l'integrazione delle equazioni.

5. Monitoraggio e diagnostica mediante analisi delle vibrazioni

*La manutenzione.* Manutenzione a rottura, preventiva, predittiva. Tecniche di monitoraggio. Monitoraggio mediante analisi di vibrazioni: analisi nel dominio del tempo, delle ampiezze, di frequenza; media asincrona e sincrona. Sorgenti di vibrazioni.

*Monitoraggio e diagnostica degli ingranaggi.* Frequenze caratteristiche. Analisi in frequenza. Modulazione di ampiezza e di fase (eccentricità, cricca). Trasformata di Hilbert. Media sincrona. Bande laterali. Cepstrum. Il segnale residuo.

*Monitoraggio e diagnostica dei cuscinetti a rotolamento.* Frequenze caratteristiche. Analisi in frequenza. Modulazione di ampiezza. Metodo dell'involuppo. Cepstrum.

*Monitoraggio e diagnostica di meccanismi a camma.* Generalità. Impiego delle tecniche classiche di elaborazione del segnale. Cenni di tecniche avanzate: analisi tempo-frequenza. La ricostruzione del segnale di vibrazione dell'organo monitorato a partire dal segnale misurato sulla cassa. Il modello del meccanismo come strumento per la diagnostica.

### III MODULO (G. CATANIA)

1. Analisi modale: applicazioni

*Modello strutturale e modello modale.* Risposta forzata. Azioni dissipative trascurabili. Azioni dissipative di tipo viscoso: smorzamento proporzionale e caso generale. Derivazione dell'espressione della funzione di risposta in frequenza (FRF). Ricettanza, mobilità, inertanza. Analisi pseudomodale.

*Modifiche strutturali.* Gradi di libertà (g.d.l.) invariati. Aumento di g.d.l.: accoppiamento elastico di modelli modali e strutturali.

*Sensibilità modale.* Sensibilità alla variazione di frequenze, rapporti di smorzamento e modi propri di vibrazione naturale. Sensibilità alla variazione di FRF. Ipotesi: azioni dissipative trascurabili e di tipo viscoso (smorzamento proporzionale e caso generale). Applicazioni in diagnostica.

2. Modellazione inversa di strutture meccaniche mediante identificazione sperimentale dei parametri modali.

*Metodo degli esponenziali complessi.*

*Metodo dell'approssimazione del cerchio nel piano di Nyquist.*

*Indicatore di modo (MIF) e indicatore di modo multiplo (MMIF).* Esempi di applicazione pratica in aula.

3. Modellazione diretta di strutture meccaniche mediante il Metodo dell'Elemento finito (M.E.F.).

*Definizioni e ipotesi.* Richiami di teoria dell'elasticità e delle deformazioni. Principio del minimo dell'energia potenziale totale. Metodo di Ritz. M.E.F. mediante il metodo degli spostamenti. Funzioni di forma (geometria). Funzioni di spostamento.

*Elemento isoparametrico.* Integrazione delle matrici locali di inerzia e rigidità. Jacobiano. Assemblaggio. Esempi pratici in aula.

*Modellazione di vincoli.* Spostamento assegnato in corrispondenza di g.d.l. del modello e in corrispondenza di punti arbitrari della struttura. Vincoli elastici, precaricati, localizzati e distribuiti. Vincoli generalizzati.

*Condensazione di g.d.l.* Condensazione statica. Condensazione dinamica.

*Modellazione delle azioni dissipative.* Azioni localmente viscoso. Modellazione fenomenologica. Modellazione spettrale. Modellazione a parametri concentrati.

4. Validazione sperimentale di modelli analitici.

Ortogonalità degli autovettori rispetto alle matrici di inerzia e rigidità. Correlazione diretta. MAC, MSF.

Modifica (*updating*).

**MECCANICA RAZIONALE**

BO, cds: R, Q, N

Docente: **Mauro Fabrizio** prof. ord.*Cenni di calcolo vettoriale.*

*Vettori Applicati.* Momento polare ed assiale di un vettore applicato. Equivalenza fra sistemi di vettori applicati. Sistemi di vettori applicati piani. Sistemi di vettori applicati paralleli. Centro.

*Cinematica del punto.* Spazio e tempo. Moto del punto, velocità di accelerazione. Moti piani. Moti in coordinate polari. Velocità areale. Moti centrali. Moto circolare ed uniforme. Moto armonico. Moto elicoidale.

*Cinematica dei sistemi materiali.* Vincoli e sistemi olonomi. Cinematica dei sistemi rigidi. Angoli di Eulero. Moto ed atto di moto traslatorio, rotatorio, elicoidale; Teorema di Mozzi.

*Cinematica dei moti relativi.* Composizione delle velocità, delle accelerazioni e delle velocità angolari.

*Moti rigidi piani.* Centro di istantanea rotazione, base e rulletta. Distribuzione delle accelerazioni nei moti rigidi piani.

*Statica e dinamica del punto.* Massa e forza. Statica e dinamica del punto materiale libero. Sistema Dinamico, causalità e determinismo. Sistemi regolari. Forze costitutive come sistema dinamico. Forza peso. Teorema delle forze vive. Principio di dissipazione dell'Energia Meccanica. Forze conservative. Integrali primi Moto dei gravi. Deviazione dei gravi in caduta. Moto armonico e moto armonico smorzato. Risonanza. Problema dei due corpi. Statica e dinamica del punto materiale vincolato. Principio delle reazioni vincolari. Pendolo semplice. Metodo di Weierstrass. Diagrammi di fase. Pendolo sferico.

*Geometria delle Masse e grandezze dinamiche dei sistemi materiali.* Baricentro di un sistema materiale. Momento d'inerzia. Matrice di inerzia. Teorema di Huygens. Quantità di moto, momento della quantità di moto, energia cinetica. Teoremi di Konig.

*Statica e dinamica dei sistemi materiali.* Equazioni Cardinali. Teorema delle forze vive e di conservazione dell'Energia Meccanica. Integrali primi. Equazioni cardinali per sistemi materiali rigidi. Sistemi materiali rigidi appoggiati. Moto di un corpo rigido con asse fisso e cimenti vincolari. Moto di un corpo rigido con punto fisso: equazioni di Eulero, moto alla Poinsot. Cenni sui fenomeni giroscopici. Moto di un corpo rigido libero.

*Meccanica Analitica.* Equazione simbolica della Dinamica e Principio di D'Alembert. Equazione simbolica della statica e Principio dei lavori virtuali. Forze generalizzate di Lagrange. Condizioni per l'equilibrio per sistemi olonomi. Calcolo delle reazioni vincolari mediante il Principio dei Lavori Virtuali. Teorema di Torricelli. Equazioni di Lagrange ed applicazione. Energia cinetica di un sistema olonomo. Teorema delle forze vive per un sistema olonomo a vincoli fssi. Metodo dei moltiplicatori di Lagrange ed equazioni di Appell per sistemi anolonomi. Integrali primi per sistemi lagrangiani. Equazioni di Hamilton.

*Stabilità e Piccole Oscillazioni.* Definizione di stabilità dell'equilibrio. Metodi di Lyapunov. Teorema di Dirichlet. Teoria delle piccole oscillazioni attorno ad una posizione di equilibrio stabile.

*Analisi qualitativa del moto.* Sistemi Autonomi. Sistemi non lineari e linearizzazione. Soluzioni periodiche e cicli limite. Biforcazioni. Cenni sulla teoria delle catastrofi.

*Testo adottato:*

M. FABRIZIO, *La Meccanica Razionale e i suoi metodi matematici*, Zanichelli, Bologna.

*Testi di consultazione:*

C. CERCIGNANI, *Spazio, Tempo, Movimento*, Zanichelli, Bologna.

- D. GRAFFI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Pàtron, Bologna.  
 G. GRIOLI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Cortina, Padova.  
 A. STRUMIA, *Lezioni di Meccanica Razionale*, CUSL, Bologna.

**Esercizi:**

- BAMPI, BENATI, MORRO, *Probemi di Meccanica Razionale*, Ecig, Genova.  
 G. GRAFFI, *Esercizi di Meccanica Razionale*, Pàtron, Bologna.  
 MURACCHINI, RUGGERI, SECCIA, *Laboratorio di Meccanica Razionale*, Esculapio, Bologna.

**Esame:** scritto e orale.

**Propedeuticità consigliate:** Analisi matematica I e II, Geometria ed Algebra, Fisica I.

**MECCANICA RAZIONALE**

**BO, cds: D**

Docente: **Tommaso Antonio Ruggeri** prof. ord.

**Calcolo Vettoriale**

Componente cartesiana di un vettore - Prodotto di uno scalare per un vettore - Somma di vettori - Prodotto scalare, vettoriale e misto - Doppio prodotto vettoriale - Vettori applicati - Risultante di un sistema di vettori - Momento polare, momento assiale - Asse centrale - Coppie - Operazioni elementari - Riduzione di un sistema di vettori applicati - Sistemi piani di vettori - Sistemi di vettori paralleli - Vettori funzione - Operatori matriciali - Elementi di geometria differenziale delle curve.

**Cinematica del punto**

Velocità, accelerazione e loro proprietà - Spostamenti elementari ed effettivi - Moti piani - Formule di Binet.

**Cinematica dei sistemi rigidi**

Moto rigido - Equazioni cartesiane di un moto rigido - Angoli di Eulero - Formule di Poisson - Velocità angolare - Legge di distribuzione delle velocità, delle accelerazioni e degli spostamenti elementari - Classificazione e proprietà caratteristiche dei moti rigidi - Atti di moto.

**Cinematica relativa**

Teorema di addizione delle velocità - Teorema di derivazione relativa - Teorema di Coriolis - Mutuo rotolamento di due superfici rigide - Traiettorie polari nei moti rigidi piani.

**Cinematica dei sistemi vincolati**

Vincoli e loro classificazione - Rappresentazione analitica - Spostamenti possibili e virtuali.

**Baricentri e momenti d'inerzia**

Concetto di massa - Baricentro di un sistema particellare e continuo - Teoremi di ubicazione del baricentro - Definizione di momento d'inerzia - Teorema di Huygens - Steiner - Momento di inerzia rispetto ad assi concorrenti - Ellissoide d'inerzia - Giroscopi.

**Cinematica delle masse**

Quantità di moto - Momento della quantità di moto - Energia cinetica - Teorema del baricentro e teoremi di Koenig.

**Lavoro**

Definizione di lavoro elementare ed effettivo - Lavoro per un cammino finito - Forze conservative - Sistemi di forze e lavoro di un sistema di forze - Lavoro nel caso di corpi rigidi e di sistemi olonomi.

**Principi della meccanica**

Principio di inerzia - Principio di proporzionalità tra forza e accelerazione - Principio di azione e reazione - Principio del parallelogramma delle forze - Postulato delle reazioni vincolari - Principio di relatività galileiana - Principio di gravitazione universale.

**Statica**

Equilibrio di un punto materiale - Equazioni di un punto vincolato su una superficie - Meccanica terrestre: peso - Equazioni cardinali della statica - Principio delle reazioni vincolari - Principio dei lavori virtuali - Stabilità dell'equilibrio - Diagramma di biforcazione - Equilibrio di un sistema olonomo.

**Meccanica delle travi e dei fili**

Equazioni cardinali della statica delle travi - Alcuni problemi di equilibrio delle travi - Equilibrio dei fili - Filo fortemente teso su una superficie - Curva dei ponti sospesi - Catenaria omogenea.

**Dinamica del punto**

Problemi analitici della dinamica del punto - Integrali primi delle equazioni di moto - Moto dei gravi - Oscillatori armonici, smorzati, forzati - Risonanza - Pendolo semplice - Punto mobile su una superficie prestabilita e su una traiettoria assegnata - Moti centrali - Problema dei due corpi - Deviazione dei gravi verso oriente.

**Dinamica dei corpi rigidi**

Equazioni di Eulero - Principio dell'effetto giroscopico - Moti alla Poinsot - Moto di un corpo rigido con un asse fisso.

**Elementi di meccanica analitica**

Principio di d'Alembert - Equazioni di Lagrange - Piccole oscillazioni nell'intorno di una posizione di equilibrio stabile.

**Elementi di meccanica dei sistemi continui**

Cenni di calcolo tensoriale in spazi euclidei - Tensore di deformazione - Equazione di continuità - Tetraedro e formula di Cauchy - Equazioni indefinite della meccanica dei continui - Equazioni costitutive per piccole deformazioni - Fluidi perfetti.

**Testi consigliati:****Teoria**

- A. STRUMIA, *Meccanica Razionale*, Nautilus, Bologna.  
 G. GRIOLI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Cortina, Padova.  
 M. FABRIZIO, *La Meccanica Razionale e i suoi Metodi Matematici*, Zanichelli, Bologna.

**Esercizi**

- A. MURACCHINI, T. RUGGERI, L. SECCIA, *Esercizi e temi d'esame di Meccanica Razionale*, Progetto Leonardo Esculapio, Bologna.

A. MURACCHINI, T. RUGGERI, L. SECCIA, *Esercitazioni di Meccanica Razionale con Matlab e Simulink*, Progetto Leonardo Esculapio, Bologna.

### Appendici

T. RUGGERI, *Appunti di Meccanica Razionale: Richiami di Calcolo Vettoriale e Matriciale*, Pitagora, Bologna.

## MECCANICA RAZIONALE L

BO, cds: M

Docente: **Barbara Lazzari** prof. straord.

### Cinematica dei sistemi materiali

Vincoli e sistemi olonomi.

Cinematica dei sistemi rigidi: angoli di Eulero, moto ed atto di moto traslatorio, rotatorio ed eliocoidale, teorema di Mozzi.

Cinematica dei moti relativi: teorema di composizione delle velocità e delle accelerazioni.

Moti rigidi piani: centro di istantanea rotazione, base e rulletta.

### Statica e dinamica del punto

Concetti di massa e forza.

Principi della dinamica newtoniana.

Statica e dinamica del punto materiale libero. Teorema delle forze vive. Integrali primi. Applicazioni.

Statica e dinamica del punto materiale vincolato. Principio delle reazioni vincolari.

Metodo di Weierstrass, diagrammi di fase, stabilità ed applicazioni.

### Geometria delle Masse

Baricentro di un sistema materiale.

Momenti d'inerzia, ellissoide di inerzia, teorema di Huygens.

### Statica e dinamica dei Sistemi Materiali

Quantità di moto, momento della quantità di moto, energia cinetica.

Equazioni Cardinali, teorema delle forze vive e di conservazione dell'energia meccanica. Integrali primi. Applicazioni ai sistemi rigidi.

### Cenni di Meccanica Analitica.

Relazione simbolica della statica e della dinamica.

Condizioni per l'equilibrio per sistemi olonomi. e applicazioni.

Equazioni di Lagrange ed applicazioni.

### Stabilità

Definizione di stabilità dell'equilibrio. Teorema di Dirichlet.

### Testo adottato:

M. FABRIZIO, *Elementi di Meccanica Classica*, Zanichelli. Bologna (2002).

**Testi di esercizi consigliati:**

F. BAMPI, M. BENATI, A. MORRO, *Problemi di Meccanica Razionale*, Ecig, Genova  
 A. MURACCHINI, T. RUGGERI, L. SECCIA, *Laboratorio di Meccanica Razionale*, Esculapio, Bologna.

**MECCANICA RAZIONALE L**

BO, cds: E, N, A

Docente: P. Paolo Abbati Marescotti prof. ord.

**Contenuto del corso:**

Presentazione, con alcune applicazioni significative, dello schema lagrangiano per i sistemi con un numero finito di variabili di stato. La formulazione in termini di bilanci energetici che lo caratterizza risulta particolarmente idonea all'estensione dall'ambito dei sistemi meccanici a quello dei circuiti elettrici e dei sistemi elettromeccanici.

**Obiettivo formativo specifico:**

Buona capacità di costruire modelli matematici per sistemi meccanici con pochi gradi di libertà, di riconoscere le proprietà di comportamento più rilevanti (equilibrio, periodicità, stabilità), e di ricavarne corrette approssimazioni locali (linearizzazione).

*Richiami e complementi di cinematica* Rappresentazione cartesiana, polare piana ed intrinseca delle grandezze cinematiche. Operatore di rotazione nel piano. Coordinate polari sferiche. Rappresentazione di uno spostamento rigido; matrice di rotazione. Moti rigidi: legge di distribuzione delle velocità, velocità angolare. Moti relativi; teorema di composizione delle velocità e degli atti di moto, composizione delle accelerazioni.

*Bilancio energetico* Teoremi generali della dinamica dei sistemi (richiami), Teorema dell'energia cinetica. Potenza di un sistema di forze, lavoro, potenziale. Forze dissipative, forze giroscopiche. Rappresentazione della potenza per un sistema rigido. Momenti e matrice d'inerzia; rappresentazione dell'energia cinetica per un sistema rigido.

*Meccanica lagrangiana* Sistemi vincolati. Gradi di libertà, coordinate lagrangiane, vincoli olonomi. Velocità e spostamenti virtuali; vincoli ideali. Vincoli con attrito. Principio dei lavori virtuali. Equazioni simboliche della statica e della dinamica. Equazioni di Lagrange: caso conservativo, funzione di dissipazione, potenziale generalizzato

*Applicazioni* Soluzioni di equilibrio, soluzioni periodiche. Integrali primi. Stabilità e instabilità dell'equilibrio: nozione e criteri di stabilità. Analisi qualitativa dei sistemi con un grado di libertà; biforcazione dell'equilibrio. Linearizzazione delle equazioni nell'intorno di una soluzione di equilibrio e di una soluzione periodica. Oscillatore lineare, libero e forzato. Piccole oscillazioni nei sistemi conservativi. Effetto delle forze dissipative e giroscopiche; forze periodiche: risonanza e antirisonanza.

Estensione a sistemi elettromeccanici (esempi).

**Testi consigliati:**

C. CERCIGNANI: *Spazio, tempo, movimento*. Zanichelli.

Durante il corso verranno svolte prove scritte intermedie; la prova d'esame è orale (preceduta da una prova scritta per i soli studenti con prove intermedie mancanti o mediamente insufficienti).

**MECCANICA RAZIONALE L**

BO, cds: C

Docente: Tommaso Antonio Ruggeri prof. ord.

**Calcolo Vettoriale**

Componente cartesiana di un vettore - Prodotto di uno scalare per un vettore - Somma di vettori - Prodotto scalare, vettoriale e misto - Doppio prodotto vettoriale - Vettori applicati - Risultante di un sistema di vettori- Momento polare, momento assiale - Asse centrale - Coppie - Operazioni elementari - Riduzione di un sistema di vettori applicati- Sistemi piani di vettori- Sistemi di vettori paralleli - Vettori funzione -Operatori matriciali- Elementi di geometria differenziale delle curve.

**Cinematica del punto**

Velocità, accelerazione e loro proprietà - Spostamenti elementari ed effettivi - Moti piani.

**Cinematica dei sistemi rigidi**

Moto rigido - Equazioni cartesiane di un moto rigido - Angoli di Eulero- Formule di Poisson - Velocità angolare- Legge di distribuzione delle velocità, delle accelerazioni e degli spostamenti elementari - Classificazione e proprietà caratteristiche dei moti rigidi - Atti di moto.

**Cinematica relativa**

Teorema di addizione delle velocità - Teorema di derivazione relativa - Teorema di Coriolis - Mutuo rotolamento di due superfici rigide - Traiettorie polari nei moti rigidi piani.

**Cinematica dei sistemi vincolati**

Vincoli e loro classificazione - Rappresentazione analitica - Spostamenti possibili e virtuali.

**Baricentri e momenti d'inerzia**

Concetto di massa - Baricentro di un sistema particellare e continuo - Teoremi di ubicazione del baricentro - Definizione di momento d'inerzia - Teorema di Huygens -Steiner - Momento di inerzia rispetto ad assi concorrenti - Ellissoide d'inerzia - Giroscopi.

**Cinematica delle masse**

Quantità di moto - Momento della quantità di moto - Energia cinetica - Teorema del baricentro e teoremi di Koenig.

**Lavoro**

Definizione di lavoro elementare ed effettivo - Lavoro per un cammino finito- Forze conservative - Sistemi di forze e lavoro di un sistema di forze - Lavoro nel caso di corpi rigidi e di sistemi olonomi.

**Principi della meccanica**

Principio di inerzia - Principio di proporzionalità tra forza e accelerazione - Principio di azione e reazione - Principio del parallelogramma delle forze - Postulato delle reazioni vincolari - Principio di relatività galileiana - Principio di gravitazione universale.

**Statica**

Equilibrio di un punto materiale - Equazioni di un punto vincolato su una superficie - Meccanica terrestre: peso - Equazioni cardinali della statica - Principio delle reazioni vincolari - Principio dei lavori virtuali - Stabilità dell'equilibrio - Diagramma di biforcazione - Equilibrio di un sistema olonomo.



### **Meccanica delle travi e dei fili**

Equazioni cardinali della statica delle travi - Alcuni problemi di equilibrio delle travi - Equilibrio dei fili - Filo fortemente teso su una superficie - Curva dei ponti sospesi - Catenaria omogenea.

### **Dinamica del punto**

Problemi analitici della dinamica del punto - Integrali primi delle equazioni di moto - Moto dei gravi - Oscillatori armonici, smorzati, forzati - Risonanza - Pendolo semplice - Punto mobile su una superficie prestabilita e su una traiettoria assegnata - Moti centrali - Problema dei due corpi - Deviazione dei gravi verso oriente.

### **Dinamica dei corpi rigidi**

Equazioni di Eulero - Principio dell'effetto giroscopico - Moti alla Poinsot - Moto di un corpo rigido con un asse fisso.

### **Elementi di meccanica analitica**

Principio di d'Alembert - Equazioni di Lagrange - Piccole oscillazioni nell'intorno di una posizione di equilibrio stabile.

### **Testi consigliati:**

#### **Teoria**

A. STRUMIA, *Meccanica Razionale*, Nautilus, Bologna.

G. GRIOLI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Cortina, Padova.

M. FABRIZIO, *La Meccanica Razionale e i suoi Metodi Matematici*, Zanichelli, Bologna.

#### **Esercizi**

A. MURACCHINI, T. RUGGERI, L. SECCIA, *Esercizi e temi d'esame di Meccanica Razionale*, Progetto Leonardo Esculapio, Bologna.

A. MURACCHINI, T. RUGGERI, L. SECCIA, *Esercitazioni di Meccanica Razionale con Matlab e Simulink*, Progetto Leonardo Esculapio, Bologna.

#### **Appendici**

T. RUGGERI, *Appunti di Meccanica Razionale: Richiami di Calcolo Vettoriale e Matriciale*, Pitagora, Bologna.

## **MECCANICA RAZIONALE L**

**FO, cds: cla, clm**

Docente: **Leonardo Seccia** prof. ass.

### **Calcolo Vettoriale**

Componente cartesiana di un vettore - Prodotto di uno scalare per un vettore - Somma di vettori - Prodotto scalare, vettoriale e misto - Doppio prodotto vettoriale - Vettori applicati - Risultante di un sistema di vettori - Momento polare, momento assiale - Asse centrale - Coppie - Operazioni elementari - Riduzione di un sistema di vettori applicati - Sistemi piani di vettori - Sistemi di vettori paralleli - Vettori funzione - Operatori matriciali - Elementi di geometria differenziale delle curve.

**Cinematica del punto**

Velocità, accelerazione e loro proprietà - Spostamenti elementari ed effettivi - Moti piani - Formule di Binet.

**Cinematica dei sistemi rigidi**

Moto rigido - Equazioni cartesiane di un moto rigido - Angoli di Eulero- Formule di Poisson - Velocità angolare- Legge di distribuzione delle velocità, delle accelerazioni e degli spostamenti elementari - Classificazione e proprietà caratteristiche dei moti rigidi - Atti di moto.

**Cinematica relativa**

Teorema di addizione delle velocità - Teorema di derivazione relativa - Teorema di Coriolis - Mutuo rotolamento di due superfici rigide - Traiettorie polari nei moti rigidi piani.

**Cinematica dei sistemi vincolati**

Vincoli e loro classificazione - Rappresentazione analitica - Spostamenti possibili e virtuali.

**Baricentri e momenti d'inerzia**

Concetto di massa - Baricentro di un sistema particellare e continuo - Teoremi di ubicazione del baricentro - Definizione di momento d'inerzia - Teorema di Huygens - Steiner - Momento di inerzia rispetto ad assi concorrenti - Ellissoide d'inerzia - Giroscopi.

**Cinematica delle masse**

Quantità di moto - Momento della quantità di moto - Energia cinetica - Teorema del baricentro e teoremi di Koenig.

**Lavoro**

Definizione di lavoro elementare ed effettivo - Lavoro per un cammino finito- Forze conservative - Sistemi di forze e lavoro di un sistema di forze - Lavoro nel caso di corpi rigidi e di sistemi olonomi.

**Principi della meccanica**

Principio di inerzia - Principio di proporzionalità tra forza e accelerazione - Principio di azione e reazione - Principio del parallelogramma delle forze - Postulato delle reazioni vincolari - Principio di relatività galileiana - Principio di gravitazione universale.

**Statica**

Equilibrio di un punto materiale - Equazioni di un punto vincolato su una superficie - Meccanica terrestre: peso - Equazioni cardinali della statica - Principio delle reazioni vincolari - Principio dei lavori virtuali - Stabilità dell'equilibrio - Equilibrio di un sistema olonomo.

**Dinamica del punto**

Problemi analitici della dinamica del punto - Integrali primi delle equazioni di moto - Moto dei gravi - Oscillatori armonici, smorzati, forzati - Risonanza - Pendolo semplice - Punto mobile su una superficie prestabilita e su una traiettoria assegnata - Moti centrali - Problema dei due corpi - Deviazione dei gravi verso oriente.

**Dinamica dei corpi rigidi**

Equazioni di Eulero - Principio dell'effetto giroscopico - Moti alla Poinot - Moto di un corpo rigido con un asse fisso.

**Elementi di meccanica analitica**

Principio di d'Alembert - Equazioni di Lagrange - Piccole oscillazioni nell'intorno di una posizione di equilibrio stabile.

**Testi consigliati:****Teoria**

A. STRUMIA, *Meccanica Razionale*, Nautilus, Bologna.

G. GRIOLI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Cortina, Padova.

M. FABRIZIO, *La Meccanica Razionale e i suoi Metodi Matematici*, Zanichelli, Bologna

**Esercizi**

A. MURACCHINI, T. RUGGERI, L. SECCIA, *Esercizi e temi d'esame di Meccanica Razionale*, Progetto Leonardo Esculapio, Bologna.

A. MURACCHINI, T. RUGGERI, L. SECCIA, *Esercitazioni di Meccanica Razionale con Matlab e Simulink*, Progetto Leonardo Esculapio, Bologna.

**Appendici**

T. RUGGERI, *Appunti di Meccanica Razionale: Richiami di Calcolo Vettoriale e Matriciale*, Pita-gora, Bologna.

**METEOROLOGIA L****FO, cds: dua, cla**

Docente: **Franco Prodi** prof. inc.

**Meteorologia Dinamica**

La terra come pianeta. Il sole ed i suoi effetti sull'atmosfera; la magnetosfera. Struttura e composizione dell'atmosfera. Gravitazione e gravità. Equazioni del moto sulla terra in rotazione. Le forze di gradiente di pressione. Il moto d'inerzia. Differenziazione seguendo il moto. Forze viscosi. Conservazione della massa. Moto orizzontale in equilibrio di forze: il vento geostrofico. Il vento di gradiente. Vento ciclostrofico. Vento termico. Shear del vento in atmosfera barotropica e baroclina. Cinematica del flusso dei fluidi; vorticità, divergenza. Circolazione e vorticità. Equazione delle tendenze barometriche. Il vento isalobarico. I fronti; regola di Margules. Altre superfici di discontinuità. Il teorema della circolazione, sua interpretazione fisica ed applicazioni. Il teorema della vorticità; conservazione della vorticità assoluta. Teoria delle onde lunghe nelle correnti occidentali.

**Termodinamica dell'atmosfera**

Le basi cinetiche. Funzioni di distribuzione. Derivazione della legge dei gas perfetti. Velocità molecolari e calori specifici di un gas monoatomico. Lavoro, calore. Energia interna e calori specifici. Processi adiabatici; equazione di Poisson. L'entropia e la seconda legge della termodinamica. L'acqua nell'atmosfera. Termodinamica dell'aria umida. Calori latenti e cambiamenti di fase. L'equazione di Clausius Clapeyron. Diagramma di stato dell'acqua. Diagrammi termodinamici. Processi adiabatici per aria satura. Computazione delle altezze per i sondaggi dell'atmosfera. Idrostatica delle atmosfere speciali. Stabilità e convezione. Convezione ed instabilità statica. I profili della temperatura presso la superficie. Flusso nello strato limite e micrometeorologia.

*Fisica delle nubi*

Elementi di fisica degli aerosols. Processi di formazione dell'aerosol atmosferico. Teoria della nucleazione. Nucleazione eterogenea. La microstruttura delle nubi calde. La crescita di goccioline e cristalli. Dinamica di caduta delle idrometeore. Interazione fra goccioline: collisione, coalescenza, break up. Struttura dell'acqua. Il ghiaccio atmosferico. La formazione della grandine. L'elettricità temporalesca. Il campo elettrico terrestre. Elementi di radarmeteorologia. La struttura dei sistemi di precipitazione. Classificazione dei temporali. Meteorologia da satellite. Il nowcasting.

*La radiazione atmosferica*

Le leggi fondamentali della radiazione. La radiazione solare entro l'atmosfera. Scattering. Comportamento radiativo di nubi ed aerosol. Visibilità e porta visuale.

*Strumenti meteorologici***METODI DI OTTIMIZZAZIONE LS**

CE, cds: S

Docente: **Daniele Vigo** prof. ass.

**Programma**

Il corso illustra i fondamenti dei principali strumenti messi a disposizione dalla Ricerca Operativa per la soluzione dei problemi decisionali e di ottimizzazione che si presentano in campo industriale e gestionale.

1. Introduzione: Problemi decisionali e di ottimizzazione. Modelli dei problemi decisionali e di ottimizzazione e loro classificazione. Metodologia della Ricerca Operativa. Algoritmi esatti ed euristici.

2. Modelli ed algoritmi di Teoria dei Grafi: Generalità e definizioni. Problemi di determinazione di alberi a costo minimo. Problemi di determinazione di cammini a costo minimo. Problemi di flusso su rete: flusso massimo. Cenni a problemi più complessi (Commesso viaggiatore, instradamento di veicoli ...).

3. Complessità computazionale degli algoritmi: Classi P ed NP. Problemi NP-completi, Problemi pseudo-polinomiali.

4. Ottimizzazione lineare: Forma canonica e standard di un problema di ottimizzazione lineare. Soluzioni ammissibili e soluzione base. Algoritmo del simplesso: interpretazione geometrica, criterio di ottimalità, degenerazione, determinazione di una soluzione base iniziale. Analisi di sensitività. Uso di un package di risoluzione.

5. Ottimizzazione lineare intera: Formulazioni di un problema di ottimizzazione lineare intera. Soluzione grafica. Totale unimodularità. Metodo branch and bound. Uso di un package di risoluzione. Illustrazione di modelli per problemi applicativi specifici (instradamento di veicoli, layout e gestione di reti di telecomunicazione...).

6. Introduzione ad altre tecniche della Ricerca Operativa: Ottimizzazione non lineare; Ottimizzazione multi-criteri; Tecniche per la pianificazione dei progetti; Simulazione numerica; Analisi previsionale e decisionale.

**Organizzazione ed esami**

Il corso prevede lezioni in aula, esercitazioni in aula ed in laboratorio ed esercitazioni libere in laboratorio. L'esame prevede una prova scritta ed una prova orale integrativa.

*Testi Consigliati*

Dispense a cura del docente (distribuite durante le lezioni e/o disponibili in rete).

*Testi per consultazione:*

- S. MARTELLO, D. VIGO, *Esercizi di Ricerca Operativa*, Progetto Leonardo, Bologna, 1999.  
 S. MARTELLO, *Lezioni di Ricerca Operativa*, Progetto Leonardo, Bologna, 2002.  
 M. FISCHETTI, *Lezioni di Ricerca Operativa*, Edizioni Libreria Progetto, Padova, 1995.  
 C. VERCELLIS, *Modelli e decisioni*, Progetto Leonardo, Bologna, 1997.  
 M. DELL'AMICO, *120 esercizi di ricerca operativa*, Bologna, Pitagora, 1996.  
 P. TOTH, D. VIGO, *The Vehicle Routing Problem*, SIAM, Philadelphia, 2002.  
 C. H. PAPADIMITRIOU, K. STEIGLITZ, *Combinatorial optimization: algorithms and complexity*, Englewood Cliffs (NJ), Prentice-Hall, 1982.

**METODI E MODELLI PER IL SUPPORTO ALLE DECISIONI** BO, cds: G\_BO, I

Docente: **Alberto Caprara** prof. ass.

Il corso si propone di illustrare i modelli matematici più frequentemente adottati nell'organizzazione e gestione di sistemi complessi ed i metodi generali per la loro risoluzione. L'enfasi del corso è soprattutto sull'aspetto modellistico, mentre le metodologie risolutive (tipicamente disponibili sotto forma di software commerciale e public domain) non verranno descritte in grande dettaglio. Questa è la differenza sostanziale rispetto al corso di Ottimizzazione Combinatoria (in cui la parte algoritmica è predominante). Una buona parte del corso sarà dedicata all'illustrazione di applicazioni reali, partendo dalla descrizione (vaga) a parole del problema ed arrivando ad una sua formalizzazione matematica.

**Introduzione:**

Il processo decisionale. Teoria delle decisioni, analisi decisionale.

Richiami del corso di Ricerca Operativa: programmazione lineare, programmazione lineare intera, grafi, complessità.

Algoritmi di tipo esatto ed euristico.

1. Problemi fondamentali di ottimizzazione combinatoria
  - Problemi "facili": flusso massimo, flusso a costo minimo, assegnamento, matching, arborescenza. Interpretazione come problemi di programmazione lineare.
  - Problemi "difficili": clique, coloring, set packing, set covering, set partitioning, commesso viaggiatore, knapsack, bin packing, facility location. Modelli di programmazione lineare intera.
2. Metodologie risolutive per problemi di programmazione lineare e lineare intera
  - Richiami sull'algoritmo del simplesso e sul branch-and-bound. Algoritmi euristici basati sul rilassamento continuo.
  - Modelli "forti" e "deboli". Metodi generali per definire modelli "forti". Implicazioni sulla risoluzione dei problemi.
  - Modelli con un numero esponenziale di variabili e/o vincoli. Separazione e generazione di colonne. Formulazioni equivalenti compatte.

### 3. Applicazioni a problemi reali

- Problemi di turnazione del personale in aziende di trasporto e call center. Decomposizione del problema in fasi e soluzione di ciascuna fase.
- Problemi di trasporto merci. Il problema del vehicle routing e sue generalizzazioni.
- Problemi di taglio mono e bidimensionale. Varianti e corrispondenti modelli matematici.

*Esame:* esercizi proposti dal docente da svolgere a casa su calcolatore e prova orale.

#### *Testi consigliati*

- appunti delle lezioni.
- dispense a cura del docente.

#### *Testi per la consultazione*

- A. AGNETIS, C. ARBIB, M. LUCERTINI, S. NICOLOSO, *Il Processo Decisionale*, La Nuova Italia Scientifica, 1992.
- G. GHIANI, R. MUSMANNO, *Modelli e Metodi per l'Organizzazione dei Sistemi Logistici*, Pitagora, 2000.
- C. VERCELLIS, *Modelli e Decisioni*, Progetto Leonardo, 1997.
- L. WOLSEY, *Integer Programming*, Wiley, 1998.

*Propedeuticità consigliate:* Ricerca Operativa.

## **METODI MATEMATICI PER I REATTORI NUCLEARI**

**BO, cds: N**

Docente: **Tullio Trombetti** prof. ord.

L'Insegnamento si propone di fornire le basi ed illustrare i principali metodi matematici che intervengono nell'analisi e progettazione di fenomeni componenti e sistemi di interesse per l'ingegnere nucleare.

#### *Programma*

Funzioni complesse di variabile complessa. Funzioni analitiche; le condizioni di Cauchy-Riemann. Integrazione nel campo complesso. Teorema e formula di Cauchy. Serie di Laurent. Classificazione delle singolarità isolate. Funzioni polidrome. Indice logaritmico e applicazioni. Spazio di Hilbert e serie di Fourier in  $L_2$ . Disuguaglianza di Bessel e uguaglianza di Parseval. Trasformata di Fourier. Inversione della trasformata di Fourier e applicazione alla risoluzione di problemi fisici. Trasformata di Laplace. Analiticità e ascissa di convergenza. Antitrasformazione. Applicazione alla risoluzione di equazioni differenziali lineari ordinarie a coefficienti costanti. Trasformata  $z$ . Trasformate di funzioni elementari. Proprietà. Linearità. Teoremi di traslazione. Teoremi del valore iniziale e finale. Differenziazione e integrazione nel campo complesso. Teoremi di convoluzione. Identità di Parseval. Inversione della trasformata. Applicazione della trasformata  $z$  alla soluzione di equazioni lineari alle differenze a coefficienti costanti. Funzione di trasferimento. Introduzione alla teoria delle probabilità. Assiomi e conseguenze. Probabilità condizionate, eventi indipendenti, regola di Bayes. Variabili aleatorie discrete e continue. Funzione di distribuzione e densità di probabilità. Momenti. Principali distribuzioni di probabilità. Funzioni di variabili aleatorie. Vettori aleatori. Cenno ai processi stocastici stazionari. Introduzione alle

applicazioni probabilistiche relative a problematiche ingegneristiche di affidabilità e di rischio.

Equazioni differenziali alle derivate parziali e metodi per la risoluzione approssimata. Gli operatori differenziali del secondo ordine: equazioni ellittiche, paraboliche ed iperboliche. La formulazione variazionale: le equazioni di Eulero, metodi approssimativi per via variazionale (il metodo di Ritz, il metodo degli elementi finiti (MEF). Il MEF: le funzioni di forma, soluzione dell'equazione di Poisson, l'equazione di equilibrio, l'assemblaggio, errore di discretizzazione e criteri di convergenza. La formulazione differenziale ed il metodo delle differenze finite (MDF): equazioni del primo ordine e del 2° ordine, soluzione del problema parabolico e problema iperbolico. La formulazione residuale: equivalenza tra il metodo di Galerkin ed il MEF; applicazione a problemi particolari.

#### *Testi consigliati*

- S. NAKAMURA, *Computational Methods in Engineering and Science*, Wiley, New York, 1977.  
 J.L. MELSA, A.P. SAGE, *An Introduction to Probability and Stochastic Processes*, Prentice Hall, 1973.  
 G.D. SMITH, *Numerical Solution of Partial Differential Equations*, Clarendon Press, Oxford, 1985.

*Esami*: Una prova scritta e una prova orale.

#### *Tesi di laurea*

Studio teorico e applicazioni, mediante metodi matematici adeguati, di problemi fisici di interesse per l'ingegneria nucleare (trasporto di particelle, fenomeni di propagazione, ...).

### **METODI MATEMATICI PER L'INGEGNERIA LS**

**FO, cds: cla,clm**

Docente: **Davide Guidetti** prof. straord.

Spazi normati e di Banach; spazi di Hilbert e sistemi ortonormali; applicazione alle serie di Fourier; funzioni di una variabile complessa; trasformata di Fourier; applicazione ad alcune equazioni della fisica matematica; elementi di calcolo delle probabilità

#### *Testi d'esame:*

Appunti del docente (per ciascuno dei corsi).

Modalità d'esame: questionario a risposte multiple + due domande di teoria scritte; a seguire prova orale.

### **METODI NUMERICI PER I REATTORI NUCLEARI**

**BO, cds: N**

Docente: **Vittorio Colombo** prof. straord.

#### *Descrizione dell'Insegnamento*

L'Insegnamento si propone di descrivere i metodi numerici e le tecniche di analisi numerica di maggiore importanza nell'ambito dell'ingegneria nucleare. La maggior parte dei metodi de-

scritti risulta finalizzata alle applicazioni tipiche della fisica dei reattori nucleari e dei plasmi industriali, non trascurando le possibilità di applicazione ad altri settori dell'ingegneria.

### Programma

1) Metodi numerici alle differenze finite per la risoluzione delle equazioni della diffusione dei neutroni e del calore: metodi di discretizzazione spaziale ad una e più dimensioni; metodi iterativi e diretti per la soluzione numerica delle equazioni discretizzate; analisi della convergenza ed ottimizzazione; equazioni di diffusione dei neutroni a multigruppi energetici; iterazioni interne ed esterne.

2) Applicazione dei metodi variazionali a problemi di neutronica: trasformazione di equazioni differenziali in equazioni funzionali; metodi di Ritz e dei residui pesati; metodi agli elementi finiti e metodi "coarse mesh" per la diffusione dei neutroni.

3) Metodi numerici per la soluzione di problemi agli autovalori per la formulazione integrale ed intero-differenziale dell'equazione del trasporto dei neutroni; cenni ai problemi di cinetica neutronica in approssimazione puntiforme e metodi di calcolo relativi.

4) Metodi alle ordinate discrete per la soluzione dell'equazione del trasporto per i neutroni: metodi di discretizzazione spazio angolare; metodo delle collisioni successive: analisi della convergenza e metodi di sintesi per la accelerazione; metodi di accelerazione modificati in caso di scattering fortemente anisotropizzante.

5) Introduzione alla fisica e alla modellizzazione numerica di sorgenti di plasma per uso industriale: scariche in radiofrequenza di tipo capacitivo in plasmi a bassa pressione e bassa temperatura; caratterizzazione fisica dei plasmi di processo; descrizione dei vari tipi di reattore; settori tipici di applicazione; modellizzazione fisica e numerica delle sorgenti di plasma di tipo torcia ad induzione; caratterizzazione fisica dei plasmi termici; descrizione dei vari tipi di sorgenti di plasma; settori tipici di applicazione.

### Esercitazioni

Le lezioni teoriche saranno integrate da esercitazioni al computer per lo sviluppo di applicazioni e programmi numerici concernenti gli argomenti del corso. Parte delle esercitazioni teoriche concerne problemi tipici di calcolo numerico la cui risoluzione si rende indispensabile per le applicazioni fisiche proposte: soluzione di sistemi lineari, integrazione numerica, problemi agli autovalori, ricerca di radici di equazioni, approssimazione di dati e di funzioni.

### Bibliografia

- B. MONTAGNINI, *Lezioni di Fisica del Reattore Nucleare*, Università di Pisa, 1983.  
 C.H.T. BAKER, *The Numerical Treatment of Integral Equations*, Clarendon Press, Oxford, 1978.  
 S. NAKAMURA, *Computational Methods in Engineering and Science*, Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1986.  
 Y. RONEN, *Handbook of Nuclear Reactor Calculations*, CRC Press, Boca Raton, 1986.  
 E. ISAACSON, H.B. KELLER, *Analysis of Numerical Methods*, John Wiley & Sons, 1966.  
 S.V. PATANKAR, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere Publishing Company, 1980.  
 M. BOULOS, P. FAUCHAIS, E. PFENDER, *Thermal Plasmas*, vol. I, Plenum Press, New York, 1994.  
 J.R. ROTH, *Industrial Plasma Engineering*, vol. I, TOP Publishing, Bristol, 1995.



**METODI NUMERICI PER L'INGEGNERIA LS**

FO, cds: cla, clm

Docente: Serena Morigi ric.

**Scopo del corso**

Il corso si propone di fornire le nozioni e gli strumenti di calcolo necessari per la soluzione di problemi classici dell'ingegneria e della matematica applicata. Il corso prevede un'attività di laboratorio che ne costituisce parte integrante in cui si utilizzerà il software MATLAB.

**Programma del corso**

- Numeri finiti, errori di arrotondamento, algoritmi, condizionamento di un problema, stabilità numerica
- Richiami sulle matrici e Introduzione all'ambiente MATLAB - Norme di vettori e di matrici.
- Sistemi di equazioni lineari. Metodi diretti: Fattorizzazione LU di una matrice, il metodo di eliminazione di Gauss, strategie di pivoting, algoritmo di Cholesky. Metodi iterativi: Metodo di Jacobi, Gauss-Seidel, SOR, Metodo del gradiente coniugato
- Equazioni e sistemi non lineari Metodo di bisezione, metodo di Newton.
- Interpolazione ed approssimazione Interpolazione polinomiale, formula di Lagrange e Newton, differenze divise. Funzioni splines, interpolazione spline. Interpolazione in più dimensioni. Approssimazione ai minimi quadrati. - Integrazione numerica: formule di quadratura di Newton Cotes, formule adattive, integrazione in più dimensioni.
- Autovalori e autovettori
- Equazioni differenziali ordinarie: Metodi ad un passo, equazioni stiff, problemi ai valori al contorno, metodi multistep, Differenze finite, FEM.

**Testi di Riferimento**G. MONEGATO, *Fondamenti di Calcolo Numerico*. Ed. CLUT, 1998.A. QUARTERONI, *Modellistica Numerica per problemi differenziali*, Springer-Verlag, Italia, 2000.**METODI NUMERICI PER LA GRAFICA LS**

BO, cds: L

Docente: Serena Morigi ric.

**Programma del corso**

- Introduzione alla grafica al calcolatore: modellazione e resa.
- Il sistema X Window, programmazione X Window, programmazione con la libreria di grafica avanzata OpenGL. Dispositivi di input/output. Tecniche avanzate di input 3D.
- Geometria per la computer graphics. Trasformazioni geometriche 2D/3D, trasformazione window-viewport, trasformazioni di vista, proiezioni prospettica e parallela. Algoritmi di grafica di base, algoritmi di clipping, algoritmi di scan conversion, algoritmi di rendering, ray tracing. Modelli di illuminazione e algoritmi di shading. Texture mapping e bump mapping. Gestione del colore.
- Modelli poligonali 2D/3D. Curve e superfici in forma parametrica, modellazione geometrica di curve e superfici spline e spline razionali (NURBS), strumenti per la modellazione geometrica. Superfici a topologia triangolare ed arbitraria. Tecniche di subdivision: teoria e pratica. Interpolazione e approssimazione con curve e superfici NURBS. Ricostruzione di superfici a partire da dati acquisiti tramite scanner 3D.
- Il corso prevede un'attività di laboratorio in cui verrà utilizzato il linguaggio di programmazione C/C++ e le librerie grafiche XWindow, e OpenGL.

**Testi di Riferimento**

- L. PIEGL, W. TILLER, *The NURBS book*, Springer Verlag (1995).  
 A. WATT, *3D Computer Graphics*, III edition, Addison Wesley (2000).  
 J.D. FOLEY, A. VAN DAM, S.K. FEINER, J.F. HUGHES, *Computer Graphics principles and practice*, II edition, Addison Wesley (1990).

**METODI NUMERICI PER L'INGEGNERIA LS**

BO, cds: L, T, I

Docente: **Fiorella Sgallari** prof. straord.**Scopo del corso:**

Il corso si propone di fornire le nozioni e gli strumenti di calcolo necessari per la soluzione di problemi classici dell'ingegneria e della matematica applicata. Il corso prevede un'attività di laboratorio che ne costituisce parte integrante in cui si utilizzerà il software MATLAB (ODEsuite, PDE toolbox) e FEMLAB (laboratorio di elementi finiti) e, secondo le necessità specifiche, opportune librerie software in C/C++ o FORTRAN.

**Programma del corso**

- Sistemi di equazioni lineari: metodi diretti ed iterativi
- Autovalori ed autovettori
- Equazioni e sistemi non lineari
- Interpolazione ed approssimazione
- Integrazione numerica
- Equazioni differenziali ordinarie: metodi one-step, multi-step, metodi per problemi stiff
- Equazioni alle derivate parziali: metodi alle differenze ed elementi finiti

Nell'ambito dei metodi numerici per sistemi lineari e non lineari e calcolo di autovalori e autovettori si presterà particolare attenzione a soluzioni specifiche per problemi di grandi dimensioni (metodi tipo Krylov, preconditionatori, ecc.). Interpolazione, approssimazione ed integrazione considereranno anche il caso multidimensionale e l'utilizzo delle Fast Fourier Transform.

**Valutazione:**

L'esame consiste in una prova orale e/o nella realizzazione e discussione di un progetto di laboratorio.

**Materiale didattico**

Lucidi del corso, esercizi di laboratorio con soluzioni a richiesta. Saranno, inoltre, consigliati testi e software specifici.

**METODOLOGIE DI PROGETTAZIONE DI MACCHINE ELETTRICHE** BO, cds: EDocente: **Antonino Grande** prof. ass.**Programma dell'insegnamento**

1. *Considerazioni generali sul dimensionamento delle macchine elettriche.* Coefficienti di utilizzazione. Macchine geometricamente simili. Normalizzazione delle dimensioni e delle po-

tenze. Forme costruttive. Grandezza di macchina. Protezioni. Tipi di raffreddamento. Tipi di servizio. Requisiti richiesti al motore elettrico in relazione alla caratteristica coppia-velocità della macchina operatrice.

2. *Parametri che intervengono nel calcolo delle macchine elettriche.* Parametri ideali di macchina: lunghezza, passo, spessore del traferro. Studio di campo in prossimità della cava: metodi analitici delle trasformate conformi, metodi agli elementi finiti. Fattori di avvolgimento per f.e.m. e f.m.m. Passaggio da secondario a primario di grandezze relative a sistemi m-n fasi. Tipi di sistemi e influenza sulla tipologia delle reti equivalenti delle macchine elettriche rotanti. Applicazioni alle macchine sincrone, asincrone del tipo a gabbia e a lamina. Il fattore di resistenza per gli avvolgimenti in corrente alternata.

Applicazioni al caso di avvolgimento di trasformatori e macchine rotanti. Coppie parassite nelle macchine di tipo asincrono.

3. *Dimensionamento elettromagnetico delle macchine elettriche.* Dati di specifica. Fasi di progetto e verifica. Dimensionamento del trasformatore. Dimensionamento delle macchine asincrone, sincrone e a corrente continua. Metodi di programmazione con personal computer. Dimensionamento della macchina elettrica e del trasformatore.

4. *Il calcolo termico delle macchine elettriche.* Riscaldamento e raffreddamento di un corpo omogeneo. Riscaldamento e raffreddamento di un sistema costituito da due corpi omogenei in mezzo isotropo. I criteri di verifica termica in relazione ai diagrammi di servizio. Utilizzo delle curve di riscaldamento e raffreddamento delle macchine, dedotte per via sperimentale. Metodo delle reti termiche. Calcolo delle conduttanze e dei relativi coefficienti. Reticoli termici delle macchine rotanti e dei trasformatori. Metodi di programmazione per la determinazione delle temperature medie delle singole sorgenti. Distribuzione puntuale della temperatura delle macchine elettriche. Metodo delle equazioni differenziali. Metodo agli elementi finiti.

5. *Principi di funzionamento e teoria di macchine elettriche particolari.*

6. *Macchine del tipo asincrono monofase e polifase, a rotore con e senza cave, motori a riluttanza ed a isteresi. Macchine a collettore alimentate in corrente alternata. La teoria dei due assi con particolare riferimento ai problemi di stabilità della macchina sincrona.*

7. *La teoria ed il disegno del motore passo-passo per azionamento a moto incrementale.*

Tipi di motore passo. Funzionamento del motore passo in condizioni statiche ed in rotazione. Coppie statiche e dinamiche. Caratteristiche di instabilità. Funzionamento unipolare, bipolare, a passo intero e a mezzo passo. Dispositivi di pilotaggio. Criteri di progettazione e disegno.

#### *Testi consigliati:*

Disponibili appunti tratti dalle lezioni.

L'esame si articola nelle fasi:

a) discussione di un elaborato contenente i calcoli numerici relativi al dimensionamento di una m. elettrica, svolti da ciascun candidato nelle ore di esercitazione.

b) colloquio su argomenti oggetto delle lezioni del Corso.

## **MICROBIOLOGIA AMBIENTALE**

**BO, cds: Q**

Docente: **Fabio Fava** prof. ass.

### *Elementi di Biochimica.*

Cellule procariotiche ed eucariotiche.

Biomolecole: struttura e funzioni dei lipidi, dei carboidrati, delle proteine e degli acidi nucleici (DNA e RNA). Cenni ai processi di duplicazione, trascrizione e traduzione del DNA.

Metabolismo: aspetti generali. Catabolismo dei carboidrati: respirazione aerobica (vie glicolitiche, ciclo di Krebs e fosforilazione ossidativa), respirazione anaerobica e fermentazione.

### *Elementi di Microbiologia Ambientale.*

Classificazione dei viventi in Regni e in Domini.

Caratteristiche biologiche principali dei batteri, funghi (lieviti e muffe) e alghe.

Nutrizione microbica e terreni di coltura. Colture pure e miste.

Crescita cellulare: colture *batch*, *fed-batch* e continua. Misurazione della concentrazione cellulare. Fattori ambientali e agenti chimici e fisici che controllano la crescita microbica.

Diversità metabolica nei microrganismi. Fotosintesi anossigenica e ossigenica.

Fissazione autotrofa della CO<sub>2</sub>. Batteri chemiolitotrofi: idrogenobatteri, solfobatteri, ferrobatteri, batteri ammonio- e nitrito-ossidanti. Respirazione anaerobica: batteri in grado di ridurre nitrato, solfato, anidride carbonica, ferro ferrico e manganese.

Fermentazioni: aspetti generali e cenno alle diverse vie fermentative.

Metabolismo dei carboidrati, lipidi, acidi grassi, e idrocarburi nell'ambiente. Metabolismo dell'azoto.

Ecologia microbica. I microrganismi in natura: loro isolamento e analisi quali- e quantitativa. Habitat acquatici e terrestri. I cicli biogeochimici del carbonio, dell'azoto, dello zolfo, del ferro e dei metalli in tracce. Biodegradazione aerobica e anaerobica di composti xenobiotici. Microbiologia e depurazione delle acque. Interazioni piante-microrganismi.

Cenni di sistematica molecolare ed evoluzione microbica.

### *Testi consigliati*

BROCK, MADIGAN, MARTINKO, PARKER, *Microbiologia*, Città Studi Edizioni (UTET), Milano, 1995.

PRESCOTT, HARLEY, KLEIN, *Microbiologia*, Zanichelli, Bologna, 1995.

STANIER, INGRAHAM, WHEELIS, PAINTER, *Il mondo dei microrganismi*, Zanichelli, Bologna, 1993.

*Valutazione del profitto.* Prova finale unica orale.

## **MICROELETTRONICA**

**BO, cds: T, L**

Docente: **Massimo Rudan** prof. ord.

### *Finalità dell'Insegnamento*

L'Insegnamento illustra le apparecchiature e i metodi della tecnologia planare per la fabbricazione dei circuiti integrati, nonché il funzionamento dei principali dispositivi a semiconduttore. Esso può essere considerato come base culturale a sé stante oppure, coordinato con Insegnamenti quali Elettronica dello stato solido, Chimica fisica, Elettronica dei sistemi digitali e Architettura dei sistemi integrati, come parte propedeutica di un gruppo di materie che sviluppano in modo completo i concetti essenziali per la formazione di un ingegnere elettronico nel settore della Microelettronica.

### *Programma*

1. Processi tecnologici in silicio.

– Proprietà chimico-fisiche e caratteristiche elettriche del silicio per uso elettronico. Tecniche

di produzione del silicio. Difetti cristallografici: difetti di punto, di linea, di superficie e di volume.

- Tecnologia planare. Ossidazione termica: modello di Deal e Grove della cinetica di ossidazione, processo isoplanare. Diffusione termica: calcolo della soluzione dell'equazione della diffusione. *predep* e *drive-in*, teoria microscopica, del coefficiente di diffusione. Impianto ionico: schema a blocchi dell'impiantatore, metodi di scansione, fenomeni di incanalamento, calcolo della distribuzione delle impurezze, annealing. Epitassia: cinetica dell'epitassia da fase vapore, interdiffusione dei droganti durante l'epitassia. Tecniche di deposizione CVD e PVD. Litografia: proprietà del *fotorezist*, fotolitografia, elettrolitografia, litografla a raggi x.

- Strutture integrate elementari. Esempi di processi bipolari e Mos. Regole di scaling. Introduzione alla progettazione assistita da calcolatore (CAD). Progettazione *top-down* e *bottom-up*. Esempi di simulazioni di processo, di dispositivo e di circuito. Struttura di una linea di produzione di circuiti integrati. Prospettive della superintegrazione.

## 2. Dispositivi a semiconduttore.

- Richiami sulla fisica dei semiconduttori: reticoli cristallini, stati energetici in un cristallo, statistica, di Fermi-Dirac, classificazione dei cristalli in isolanti, conduttori e semiconduttori, concetto di lacuna. Equazioni dei dispositivi a semiconduttore. Modelli fisici per i coefficienti delle equazioni: mobilità e coefficienti di diffusione, generazione SRH, Auger, ottica e per impatto.

- Struttura e funzionamento dei dispositivi elementari. Giunzione p-n all'equilibrio e in regime stazionario; caratteristica statica, capacità, differenziale. Giunzione Schottky. Transistore a giunzione a effetto di campo (J FET): ipotesi del profilo graduale e calcolo delle caratteristiche statiche. Transistore bipolare (BJT): derivazione del modello di Ebers e Moll; effetti *emitter crowding* ed *Early*. Condensatore MOS: soluzione dell'equazione di Poisson nel caso monodimensionale; condizioni di accumulazione, svuotamento. debole e forte inversione. capacità differenziale. Transistore MOS a effetto di campo (MOSFET): calcolo delle caratteristiche statiche, effetto di canale corto. Fenomeni di instabilità nella giunzione p-n: instabilità termica, valanga dovuta a ionizzazione da impatto, effetto Zener.

- Funzionamento in regime di piccoli segnali: circuito equivalente alle variazioni del JFET e del MOSFET, modello a controllo di carica del BJT.

- Funzionamento in regime transitorio: condensatore MOS, dispositivi a trasferimento (CTD, CCD).

## 3. Sensori, laser, e display.

Cenni sull'assorbimento di radiazione da parte di un semiconduttore. Sensori elementari: fotorezistore, fotodiodo (funzionamento continuo e impulsato), fotocondensatore MOS, fototransistore MOS e f. bipolare. Struttura e funzionamento dei dispositivi a trasferimento (CTD, CCD) e a iniezione di carica, (CID); sensori ottici complessi mono e bidimensionali; telecamere a stato solido. Cella, solare.

- Sensori piezoelettrici e chimici in silicio.

- Struttura, e funzionamento del *laser*. Esempio: laser a semiconduttore.

- Display di tipo LED e LCD.

## 4. Esercitazioni di laboratorio e seminari.

Nell'ambito dell'insegnamento vengono svolte esercitazioni di laboratorio (LAB2) consistenti nell'applicazione di tecniche CAD a processi e dispositivi. Le esercitazioni sono precedute dalla descrizione delle tecniche di discretizzazione delle equazioni a derivate parziali d'interesse per i dispositivi, e dalle istruzioni per l'uso dei programmi CAD disponibili.

L'insegnamento è integrato da seminari su dispositivi avanzati (*quantum wire*, *quantum dot*, microscopio a effetto *tunnel*), susensori e su metodologie di progetto di dispositivi e sensori.

Sono previste visite al Laboratorio CNR-LAMEL.

*Argomenti di ricerca nell'ambito dei quali sono disponibili tesi di laurea:*

Dispositivi: modelli fisici avanzati del trasporto nei semiconduttori; metodi di soluzione delle corrispondenti equazioni; analisi, progettazione e ottimizzazione dei dispositivi. Sensori: analisi, progettazione e ottimizzazione di sensori ottici e chimici. CAD tecnologico.

Le tesi di laurea si svolgono di regola, presso il Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica. Sono anche disponibili tesi più orientate verso la tecnologia da svolgersi, previo accordo, presso il Laboratorio CNR-LAMEL.

*Testi di riferimento*

1. E. DE CASTRO, *Fondamenti di Elettronica - Fisica, elettronica ed elementi di teoria dei dispositivi*, UTET, 1975.
2. E. DE CASTRO, *Teoria dei dispositivi a semiconduttore*, Pàtron, 1983.
3. G. BACCARANI, *Dispositivi MOS*, Pàtron, 1982.
4. D.A. NEAMEN, *Semiconductor Physics and Devices*, IRWIN, 1992.
5. G. SONCINI, *Tecnologie microelettroniche*, Boringhieri, 1986.
6. S.M. SZE, *Semiconductor Devices - Physics and Technology*, Wiley, 1985.
7. W. MALY, *Atlas of IC Technologies: an Introduction to VLSI Processes*, The Benjamin/Cummings Publishing Co., 1987.
8. M. RUDAN, *Tavole di Microelettronica*, seconda ed., Pitagora, Tecnoprint, 1998.
9. Su alcuni argomenti sono disponibili fotocopie di appunti e trasparenti.

## MICROONDE

BO, cds: T

Docente: **Alessandra Costanzo** prof. ass.

L'Insegnamento si propone di fornire le conoscenze di base e le metodologie per studio dei componenti e dei circuiti a microonde e ad onde millimetriche.

### 1) *Propagazione elettromagnetica guidata*

Generalità sulle strutture cilindriche. Guide d'onda. Guide dielettriche e fibre ottiche. Problemi di eccitazione. Linee di trasmissione omogenee e non omogenee.

### 2) *Modellistica di componenti passivi*

Linee di trasmissione come componenti circuitali. Calcolo dei parametri primari delle linee. Dispersione nelle linee di trasmissione non omogenee. Discontinuità, eccitazione di modi superiori, irraggiamento. Metodi statici per l'analisi delle discontinuità. Metodi elettromagnetici per l'analisi di componenti passivi. Cavità risonanti e risonatori dielettrici. Accoppiamento a una cavità.

### 3) *Modellistica di componenti attivi*

Principi di funzionamento del MESFET. Circuito equivalente in regime linearizzato. Metodi di estrazione dei parametri. Dipendenza dalla polarizzazione. Conservazione della carica elettrica. Circuito equivalente in regime non lineare. Metodi di identificazione. Modelli analitici.

*Testi consigliati:*

V. RIZZOLI, A. LIPPARINI, *Propagazione elettromagnetica guidata*, Ed. Esculapio.

- T. ITOH, *Numerical Techniques for Microwave and Millimeter-Wave Passive Structures*, Ed. John Wiley.
- P.H. LADBROOKE, *MMIC Design: GaAs FETs and HEMTs*, Ed. Artech House.

*Propedeuticità consigliate:* Analisi matematica III, Campi Elettromagnetici I, Elettronica applicata I.

## MINERALOGIA E LITOLOGIA

BO, cds: R

Docente: Marco Del Monte prof. ass.

I minerali nella storia dell'uomo: i minerali degli elementi metallici e i metalli, i minerali argillosi e le terre cotte, il quarzo e i vetri, i pigmenti e la pittura, i minerali di U e Th e l'era nucleare. I minerali nell'ambiente: minerali delle rocce, dei sedimenti, dei suoli, dei giacimenti, degli artefatti; minerali aerodispersi; biominerali. Definizione di minerale, genesi dei minerali, minerali cristallini e amorfi. La simmetria cristallina e la sistematica mineralogica: classi, sistemi e gruppi. La struttura intima dei minerali: reticoli spaziali, costanti cristallografiche, piani reticolari e indici di Miller. Proprietà fisiche scalari: peso specifico, fusibilità; proprietà fisiche vettoriali: forma, sfaldatura, durezza, tenacità, conducibilità elettrica e termica, suscettività magnetica, piezoelettricità; rapporti tra luce e minerali: minerali trasparenti, traslucidi e opachi, il colore e gli elementi cromatici, gli indici di rifrazione, la birifrazione. La cristallochimica: polimorfismo, isomorfismo e vicarianza. Il riconoscimento dei minerali cristallini: cenni sulla natura e sulle proprietà della radiazione-x, la legge di Moseley, piani reticolari e riflessione dei raggi-x, l'equazione di Bragg. Diffrazione a raggi-x e diffrattogrammi: riconoscimento di minerali e miscele di minerali con l'uso delle tavole o del software ICCP. Il metodo di Debye-Scherrer e la lettura degli spettri. Le proprietà fisiche conferite ai minerali cristallini da elementi in tracce e i minerali amorfi: l'analisi chimica. Cenni sulla struttura dell'atomo e sulla spettrometria, l'equazione di Planck-Einstein, la legge di Lambert-Beer. Metodi per l'analisi chimica ad assorbimento (la spettrometria di assorbimento atomico a fiamma e elettrotermica: AAS) e ad emissione (la spettrometria di fluorescenza dei raggi-x: XRF, il plasma a induzione: ICP). Cenni sulla microanalisi (SEM-EDS, TEM-EDS).

Le rocce: definizione di roccia. Le rocce e i grandi eventi che interessano la crosta del pianeta. Rocce eruttive intrusive e effusive, rocce sedimentarie clastiche, biochimiche e chimiche, rocce metamorfiche. Il processo eruttivo intrusivo: batoliti e graniti-granodioriti (pegmatiti e apliti). Il processo eruttivo effusivo: il vulcanesimo, i basalti-andesiti, i fondali oceanici, le dorsali e le isole oceaniche, i plateaux. Le crioliti o porfidi quarziferi (pomici e ossidiane). Genesi dei magmi basaltici e di quelli granitici: la serie di Bowen e la cristallizzazione frazionata, l'anatessi. Mineralogia e chimismo delle rocce eruttive. Il processo sedimentario: la degradazione meteorica, il trasporto, la sedimentazione, la diagenesi. Le rocce clastiche: conglomerati, arenarie e argille. Rocce biochimiche: calcari, dolomie e diatomeiti. Rocce evaporitiche: calcari e gessi. Mineralogia e chimismo delle rocce sedimentarie. Cenni sul processo metamorfico: filladi, micascisti e gneiss. Mineralogia e chimismo delle rocce metamorfiche. Proprietà tecniche delle rocce. Le pietre messe in opera e la durabilità. Altri usi: cementi, cementi idraulici, laterizi. Rocce e suoli.

*Testi consigliati:*

CAROBBI, *Trattato di Mineralogia*, USES, Firenze, 1971.

B. D'ARGENIO, F. INNOCENTI, F.P. SASSI, *Introduzione allo studio delle rocce*, UTET, Torino, 1994.

H. AUBOUIN, R. BROUSSE, *Compendio di Geologia: I° Litologia*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1973.

M. CIABATTI, M. DEL MONTE, *Elementi di Mineralogia e Geologia*, CLUEB, Bologna, 1989.  
Appunti dalle lezioni.

*Esame orale.*

## **MISURE E COLLAUDO DI MACCHINE ED IMPIANTI ELETTRICI** BO, cds: E

Docente:

Il corso intende fornire conoscenze per l'analisi dei rischi e la gestione della sicurezza in ambiente di lavoro.

### **Programma**

*La sicurezza negli ambienti di lavoro.*

Il quadro legislativo. L'obbligo di sicurezza. I servizi aziendali per la tutela della sicurezza e della salute negli ambienti di lavoro: organizzazione, compiti e responsabilità. Organi di vigilanza: organizzazione, compiti e poteri.

Sicurezza, pericolo, rischio. Rischio residuo, rischio indebito, rischio imposto. I costi della sicurezza. Evoluzione del concetto di rischio accettabile.

Elementi di analisi operativa dei rischi. Norme tecniche e sicurezza: l'esempio delle norme CEI. Applicazione delle norme CEI sugli impianti elettrici e rischi residui. Alcuni esempi: curva convenzionale di sicurezza tensione-tempo; tempi di intervento delle protezioni coordinate con impianti di terra; prescrizioni sul sezionamento del neutro.

Analisi di infortuni sul lavoro per cause elettriche. Esempi di evoluzione della normativa per la riduzione del rischio elettrico in ambienti ordinari e particolari. Circuiti "a sicurezza positiva".

*Verifiche su gli impianti elettrici.*

Operare in sicurezza durante le verifiche. Strumentazione per le verifiche.

Verifiche sui sistemi di protezione dai contatti diretti. Verifiche sui sistemi di protezione dai contatti indiretti senza o mediante interruzione automatica dell'alimentazione. Limiti protettivi degli interruttori differenziali. Verifica della corretta scelta e installazione dei dispositivi per la protezione contro le sovracorrenti. Verifiche su impianti di terra.

Le verifiche per la sicurezza negli impianti elettrici per i cantieri edili.

Costituiscono parte integrante del corso i seminari svolti da Ingegneri (il responsabile del settore sicurezza della AUSL di Bologna e il responsabile del servizio aziendale di prevenzione di una industria cittadina) e le esercitazioni in aula e di laboratorio.

*Tipo di esame:* orale

*Propedeuticità consigliata:* Impianti elettrici; Misure elettriche A.

*Testi consigliati:*

Appunti delle lezioni.

V. CARRESCIA: *Fondamenti di sicurezza elettrica*, HOEPLI, Milano.



**MISURE E CONTROLLI NEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI****BO, cds: R**Docente: **Ezio Mesini** prof. ass.*Finalità dell'Insegnamento*

Fornire agli allievi conoscenze di carattere teorico-applicativo sulle misure che vengono eseguite nei giacimenti petroliferi e gassiferi ai fini della loro coltivazione, in particolare sulla termodinamica e fluidodinamica dei fluidi in giacimento e dei sistemi roccia serbatoio/fluidi contenuti, nonché sulle registrazioni elettriche, radioattive e soniche eseguite in pozzo.

*Programma*

Richiami sulle tecniche di previsione del comportamento dei giacimenti di idrocarburi. Situazione attuale dell'ingegneria dei giacimenti. Formation Evaluation: obiettivi e metodologie impiegate. Carotaggi meccanici di fondo e di parete. Fattori che influenzano la qualità delle carote. Analisi petrofisiche su carote: analisi standard (porosità, permeabilità, saturazione in acqua residua, Grain Density, fattore di resistività della formazione) e analisi speciali (pressione capillare, permeabilità relative, bagnabilità).

Surface Logging: cenni sulle tecniche attuali tecniche di misura e di analisi dei fluidi, dei gas e dei detriti durante la fase di perforazione. Loro utilizzo nel processo di Formation Evaluation.

Log geofisici di pozzo: generalità sulle tecniche impiegate per la valutazione degli idrocarburi in posto, log wireline e while drilling. cenni sui log di produzione e sul monitoraggio del giacimento in fase di produzione. Parametri petrofisici e loro relazioni con i parametri fisici della formazione. Log litologici. di resistività (macro e micro) induttivi e galvanici. Log di porosità acustici e nucleari. Interpretazione dei log: convenzionale, quick look, mediante crossplot, interpretazione in formazioni argillose.

Comportamento volumetrico e di fase dei sistemi di idrocarburi naturali ad alta pressione. Diagrammi di fase dei greggi, dei gas e condensati, dei gas secchi, a condizioni di giacimento e nei separatori di superficie. Studio dei fluidi in giacimento e negli impianti di trattamento di superficie mediante apparecchiature PVT.

*Testi consigliati*

CHIERICI G.L., *Comportamento volumetrico e di fase degli idrocarburi nei giacimenti*, Giuffrè Editore, Milano, 1962.

CHIERICI G.L., *Principles in petroleum reservoir Engineering*, Springer Verlag, Berlin, 1994.

DRESSER ATLAS, *Well logging and interpretation techniques*, Dresser Atlas Industries, 1982.

HELANDER D.P., *Fundamentals of Formation Elvaluation*, OGC Publications, 1983.

MC CAIN W.D., *The Properties of Petroleum Fluids*, PennWell Books, Tulsa, 1990.

MACINI P., MESINI E., *Alla ricerca dell'energia. Metodi di indagine per la valutazione delle georisorse fluide*, Clueb, Bologna, 1998.

PEDERSEN K.S., FREDENSLUND A., THOMASSEN P., *Properties of Oils and Natural Gases*, Gulf Publishing Co., Houston, 1989.

SCHLUMBERGER, *Log Interpretation Principles/Applications*, Houston, 1989.

TIAB D., DONALDSON E.C., *Petrophysics. Theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties*, Gulf Publishing, Houston, 1996.

*Esame orale*, con richiami ad applicazioni pratiche delle materie dell'insegnamento.

*Propedeuticità consigliate*: Ingegneria dei giacimenti di idrocarburi.

**MISURE ELETTRICHE**

BO, cds: E

Docente: **Alberto Burchiani** prof. ass.

L'Insegnamento si propone di fornire agli allievi:

- le basi teoriche necessarie per affrontare i problemi generali delle misure;
- la conoscenza degli strumenti e dei metodi fondamentali delle misure elettriche;
- le procedure per l'esecuzione delle principali misure di verifica e collaudo sulle macchine e sugli impianti elettrici;
- la conoscenza di strumenti e metodologie per la misura elettrica di grandezze non elettriche, pertinenti all'ingegneria elettrica.

Argomenti dell'Insegnamento saranno:

- nozioni di metrologia. unità di misura fondamentali e derivate del Sistema Internazionale;
- risoluzione, sensibilità ed espressione della misura;
- errori di misura: tipi e legge di propagazione degli stessi;
- strumenti indicatori e registratori analogici: costituzione, principi di funzionamento, caratteristiche ed impiego;
- strumenti ad amplificatore analogici e digitali: cenni alle caratteristiche esterne ed all'impiego;
- principali metodi di misura di grandezze elettriche: ponti in c.c. ed in c.a., ponti a squilibrio, potenziometri;
- misure di potenza e di energia in corrente alternata su sistemi monofase e trifase;
- sistemi di tariffazione dell'energia elettrica;
- metodi di misura delle grandezze fondamentali di materiali conduttori magnetici ed isolanti;
- prove sulle macchine elettriche: isolamento, rendimento, sovrariscaldamento;
- misure sugli impianti elettrici: resistenza di terra, tensioni di passo e contatto, impedenza di guasto;
- misura di grandezze fotometriche pertinenti alle sorgenti ed agli impianti di illuminazione;
- misura di grandezze acustiche fondamentali;
- misura di campi elettromagnetici a bassa frequenza.

Costituiscono parte integrante dell'Insegnamento le esercitazioni teoriche e pratiche di laboratorio

*Testi consigliati:*MODONI-DORE, *Misure Elettriche*, Pàtron.*Dispense* integrative su argomenti specifici.*Esame:* prova pratica di laboratorio ed esame orale.*Propedeuticità consigliate:* Macchine Elettriche, Impianti Elettrici.**MISURE ELETTRONICHE LA**

BO, cds: L (A-K), T (A-K)

Docente: **Mario Rinaldi** prof. ord.

L'insegnamento si propone di illustrare i concetti ed i metodi utili per individuare e risolvere i problemi di misura e rilevazione di grandezze elettriche e, tramite segnali elettrici, di grandezze di natura diversa in particolare nell'automazione.

Si propone inoltre di fornire i criteri e le conoscenze per la valutazione, la scelta, l'impiego e la progettazione della strumentazione.

### *Programma*

#### *Metrologia ed elementi di statistica.*

Richiami di metrologia generale. Il Sistema Internazionale, unità e campioni. Elementi di metrologia elettrica. Richiami di calcolo delle probabilità e statistica: variabili casuali e stime. Misure di conformità per valutare la qualità di una produzione industriale.

#### *Segnali elettrici di misura*

I segnali elettrici come supporto fisico delle informazioni di misura. Catena di misura (data logging) e catena di regolazione automatica. Segnali analogici e numerici di misura. L'amplificazione dei segnali analogici di misura (amplificatori operazionali e per strumentazione; amplificatori in ca). Conversione analogico-numerica e numerico-analogica. L'elaborazione numerica dei segnali di misura.

#### *Misura per via elettrica di grandezze non elettriche*

Sensori e trasduttori: modello interpretativo, grandezze di influenza, funzionamento in regime stazionario e dinamico, condizione di non distorsione. Principi fisici della trasduzione. Caratterizzazione dei trasduttori riguardanti le grandezze fisiche di maggiore interesse nei dispositivi di regolazione e governo di impianti e processi industriali. Casi particolari del controllo di velocità di motori e del controllo di posizione.

#### *Misure di tempo e frequenza*

Campioni di tempo e frequenza. Conteggio elettronico di impulsi. Misura della frequenza e degli intervalli di tempo.

#### *Misura delle grandezze elettriche attive in regime stazionario ed in transitorio*

Strumenti analogici elettromeccanici ed elettronici. Componenti per l'ampliamento del campo di misura: trasformatori di tensione e corrente, attenuatori, amplificatori, convertitori ca-cc di precisione, moltiplicatori analogici.

Strumenti numerici. Registratori XY e X-t. Oscilloscopio. Registratore di transitori. Oscilloscopio a memoria numerica.

#### *Esempi di applicazione.*

#### *Misure di forza elettromotrice e di impedenza*

Metodi potenziometrici. Componenti di precisione e reti equivalenti. Parametri indesiderati dei circuiti. Metodi indiretti e per sostituzione. Metodi voltamperometrico, di zero, a risonanza. Strumenti automatici.

#### *Misure nei circuiti di potenza*

Determinazione dei circuiti in corrente continua, in corrente alternata monofase e trifase; la risposta dei circuiti nel dominio del tempo e della frequenza. Analizzatore di reti. Effetti delle deformazioni introdotte dai circuiti elettronici di potenza.

#### *Sistemi complessi di misura, sistemi di acquisizione dati, telemisure*

Strumenti di misura a microprocessore. Interfaccia standard IEEE-488 per apparecchi di misura programmabili. Componenti di un sistema per l'acquisizione di dati. Problemi di diagnostica e di autodiagnostica. Sistemi a video grafico con allarmi. Telemisure: concetti generali, sistemi analogici, sistemi numerici.

*Misure di conformità e di affidabilità su componenti e dispositivi*

I problemi del controllo di qualità di componenti e dispositivi e della loro vita utile. Le carte di controllo. MTBF e MTTF. Le prove di vita. Cenni ai problemi della qualità totale.

*Testi consigliati*

Vengono distribuiti appunti.

Si consiglia inoltre la consultazione, per particolari argomenti, dei volumi seguenti:

L. BENETAZZO, *Misure elettroniche*, vol. 1 (Strumentazione analogica), ed. CLEUP, Padova.

L. BENETAZZO, *Misure elettroniche*, vol. 2 (Strumentazione numerica), ed. CLEUP, Padova.

J.P. BENTLEY, *Measurement Systems*, ed. Longman Group.

M. SAVINO, *Fondamenti di scienza della misurazione*, ed. La Nuova Italia.

P.H. SYDENHAM (a cura di), *Handbook of measurement science*, J. Wiley & Sons.

E.L. GRANT-R.S. LEAVENWORTH, *Statistical quality control*, ed. Mc Graw Hill.

**MISURE ELETTRONICHE LA****BO, cds: L (L-Z), T (L-Z)**

Docente: **Domenico Mirri** prof. straord.

L'insegnamento si propone di illustrare i concetti ed i metodi utili per individuare e risolvere i problemi di misura e rilevazione di grandezze elettriche e di grandezze di natura diversa ma per via elettrica nell'elettrotecnica, nell'elettronica e nei sistemi di automazione.

Si propone inoltre di fornire i criteri e le conoscenze per la valutazione, la scelta l'impiego e la progettazione della strumentazione.

*Programma**Metrologia*

Richiami di metrologia generale. Il Sistema Internazionale, unità e campioni. Elementi di metrologia elettrica. Richiami di teoria degli errori.

*Segnali elettrici di misura*

I segnali elettrici come supporto fisico delle informazioni. Catena di misura (data logging) e catena di regolazione automatica. Segnali analogici e numerici. L'amplificazione dei segnali analogici di misura (amplificatori operazionali e per strumentazione, amplificatori in ca). Conversione analogico-numerica e numerico-analogica. L'elaborazione numerica dei segnali di misura.

*Misura per via elettrica di grandezze non elettriche*

Sensori e trasduttori: modello interpretativo, grandezze di influenza, funzionamento in regime stazionario e dinamico, condizioni di non distorsione. Principi fisici della trasduzione. Caratterizzazione dei trasduttori riguardanti le grandezze fisiche di maggiore interesse nei dispositivi di regolazione e governo di impianti e processi industriali. Casi particolari del controllo di velocità di motori e del controllo di posizione.

*Misure di tempo e frequenza*

Campioni di tempo e frequenza. Misura della frequenza e degli intervalli di tempo con strumenti a contatore.

*Misura delle grandezze elettriche attive in regime stazionario ed in transitorio*

Strumenti analogici elettromeccanici ed elettronici. Componenti per l'ampliamento del campo di misura: trasformatori di tensione e corrente, attenuatori, amplificatori, convertitori

ca-cc di precisione, moltiplicatori analogici. Campioni di f.e.m. Metodi potenziometrici. Strumenti numerici. Registratori XY e X-t. Oscilloscopio. Registratore di transistori. Oscilloscopio a memoria numerica.

#### *Misure di impedenza*

Componenti di precisione e reti equivalenti. Parametri indesiderati dei circuiti. Metodi indiretti e per sostituzione. Metodi voltampermetrico, di zero, di risonanza. Strumenti automatici.

#### *Misure sui circuiti in regime stazionario e in transitorio*

Determinazione del regime dei circuiti in corrente continua, in corrente alternata monofase e trifase. La risposta dei circuiti nel dominio del tempo e della frequenza. Analizzatore di reti.

#### *Sistemi complessi di misura, sistemi di acquisizione dati, telemisure*

Strumenti di misura a microprocessore. Interfaccia standard IEEE-488 per apparecchi di misura programmabili. Componenti di un sistema per l'acquisizione di dati. Problemi di diagnostica e di autodiagnostica. Sistemi a video grafico con allarmi. Telemisure: concetti generali, sistemi analogici, sistemi numerici.

Le esercitazioni svolte in aula riguardano approfondimenti e completamenti degli argomenti trattati nelle lezioni.

Le esercitazioni svolte in laboratorio riguardano la strumentazione (in particolare l'oscilloscopio), prove su componenti per automazione tramite un banco automatico di misura, esempi di analisi di segnali e di filtraggio numerico, la determinazione sperimentale di alcuni parametri caratteristici di trasduttori.

#### *Testi consigliati:*

Vengono distribuite dispense.

Si consiglia inoltre la consultazione, per particolari argomenti, dei volumi seguenti:

BERTOLACCI, BUSSOLATI e MANFREDI, *Elettronica per misure industriali*, Tamburini editore.

L. BENETAZZO, *Misure elettroniche*, vol. 1 (strumentazione analogica), ed. CLEUP, Padova.

L. BENETAZZO, *Misure elettroniche*, vol. 2 (strumentazione numerica), ed. CLEUP, Padova.

P. SCHIAFFINO, *Misure elettroniche*, ed. CLUP, Milano.

P. H. SYDENHAM (a cura di), *Handbook of measurement science*, J. Wiley & Sons.

#### *Propedeuticità consigliate*

Si ritiene essenziale la conoscenza delle nozioni fornite negli insegnamenti di Elettrotecnica I, Elettronica Applicata I, Elettronica Applicata II, Reti Logiche.

## **MISURE ELETTRONICHE LA**

**CE, cds: dut, dul, dui**

Docente: **Gaetano Pasini** prof. ass.

*Elementi di metrologia elettrica.* Unità di misura. Metodi di misura. Errori sistematici, aleatori e loro propagazione. Elaborazione statistica dei risultati di misura. Caratterizzazione metrologica degli strumenti e dei blocchi funzionali. Misure convenzionali e norme.

*Misure in corrente continua.* Campioni di resistenza e di forza elettromotrice. Amplificatori e attenuatori di precisione. Indicazione analogica e digitale. Misure di corrente, tensione, resistenza e potenza. metodi di zero e di sostituzione.

*Misure in corrente alternata.* Circuiti equivalenti del resistore, del condensatore e dell'indut-

tore. Campioni di capacità ed induttanza. Parametri parassiti dei circuiti. Misure di impedenza. Convertitori alternata-continua di precisione. Misure di corrente, tensione e potenza. Misure con strumenti oscillografici: oscilloscopi, analizzatori di spettro ed analizzatori di reti.

*Misure di tempo e di frequenza.* Campioni di tempo e frequenza. Frequenzimetri ed intervalometri a contatore.

*Misure su segnali campionati.* Strategie di campionamento: sincrono, asincrono ed aleatorio. Elaborazione numerica dei segnali campionati. Caratteristiche e prestazioni degli strumenti a campionamento.

## MISURE MECCANICHE, TERMICHE E COLLAUDI L

BO, cds: M

Docente: **Piero Pelloni** prof. ord.

L'Insegnamento intende fornire conoscenze sulle tecniche più frequentemente impiegate nell'effettuazione delle misure sulle principali grandezze fisiche di interesse nell'ingegneria meccanica, particolarmente mediante l'acquisizione di segnali proporzionali alle dette grandezze.

Vengono altresì forniti i mezzi per la valutazione dell'attendibilità delle misurazioni effettuate. Infine si dà un esempio di collaudo inteso come verifica delle condizioni di funzionamento di una macchina o di un impianto, sulla base dei risultati delle misure di diversi parametri.

I problemi generali delle misure

Gli errori di misura e la loro propagazione, anche nelle valutazioni finali dei collaudi.

Le prestazioni caratterizzanti le strumentazioni.

I concetti funzionali alla base dei trasduttori. Segnali analogici, digitali, nel dominio tempo. La conversione analogico-digitale e viceversa. Le catene di misura. La registrazione e l'acquisizione delle grandezze tempovarianti.

*Approfondimenti su tecniche di misura*

Vengono approfondite le più diffuse strumentazioni tradizionali ed avanzate per le misure di alcune grandezze di particolare interesse per l'ingegnere meccanico come:

- Stati di deformazione di strutture
- Pressioni
- Temperature
- Composizione di prodotti di combustione
- Spostamenti
- Vibrazioni
- Velocità dei fluidi
- Portate
- Forze e coppie
- Velocità di rotazione
- Potenze

*Problemi di collaudo*

Dopo l'impostazione generale dei problemi che sorgono nei collaudi, si approfondisce a titolo d'esempio il caso del collaudo dei motopropulsori per autoveicoli.

*Testi consigliati:*

- 1) G. MINELLI, *Misure Meccaniche*, Pàtron.

- 2) DOEBELIN, *Measurement Systeme*, Mc Graw Hill, Kogakusha, U.S.A.
- 3) BECKWITT-BUCK, *Mechanical Measurements*, Addison Wesley, U.S.A.

L'esame è costituito da una prova orale.

*Propedeuticità consigliate:* Fisica tecnica, Idraulica.

*Tesi di Laurea:* 1) Studio di strumenti e di apparati di misura. 2) Circuiti di collaudo di macchine.

## MODELLI DI SISTEMI BIOLOGICI BS

CE, cds: clb

Docente: **Gianni Gnudi** prof. straord.

### Finalità

Il corso si propone di fornire le conoscenze di base e gli strumenti essenziali per l'analisi modellistica dei fenomeni e dei processi biofisici fondamentali e per la comprensione del comportamento dei sistemi biologici complessi.

### Programma

#### Introduzione alla modellistica dei sistemi biologici

Proprietà generali del comportamento dei sistemi biologici. Problemi e approcci dell'analisi dei sistemi applicata agli organismi viventi. Modelli dei dati e del sistema. Generalità sull'uso dei modelli matematici per la soluzione dei problemi di analisi, simulazione, identificazione e controllo. Generalità sulla validazione dei modelli.

#### Modelli lineari

Concetto di stato. Equazioni di stato in forma canonica. Equazioni vettoriali lineari omogenee. Equazioni vettoriali lineari non omogenee. Matrice di trasferimento. Scelta del vettore di stato. Stabilità nel senso di Liapounoff. Stabilità e stretta stabilità dei sistemi lineari. Stabilità dello stato e stabilità della funzione di trasferimento. Equazioni di stato dei sistemi in retroazione. Funzione di trasferimento dei sistemi in retroazione. Sensibilità alla variazione dei parametri. Sensibilità ai disturbi. Allargamento della banda passante. Errori a regime. Modello della respirazione di Cheyne-Stokes. Esempi di modelli a parametri distribuiti.

#### Modelli nonlineari

Confronto fra sistemi lineari e nonlineari. Linearizzazione. Analisi nel piano delle fasi. Stabilità locale: punti singolari e loro classificazione. Metodo delle isocline. Oscillatori nonlineari. Cicli limite. L'oscillatore di Van der Pol. Modelli delle disritmie cardiache. Modello elettrico di membrana e modello di Hodgkin-Huxley per il potenziale di azione. Esempi di sistemi biologici a dinamica complessa.

Il corso è integrato da esercitazioni al computer basate sull'uso del pacchetto MATLAB-SIMULINK.

#### Testi consigliati

Appunti dalle lezioni distribuiti dal docente.

M.C.K. KHOO, *Physiological control systems: analysis, simulation, and estimation*, IEEE Press, New York, 2000.

S.H. STROGATZ, *Nonlinear Dynamics and Chaos*, Westview Press (Perseus Books Group), 1994.

## **MODELLI FISICO-MATEMATICI PER L'INGEGNERIA INDUSTRIALE LS**

FO, cds: cla,clm

Docente: **Leonardo Seccia** prof. ass.

### **Sezione 1: Introduzione**

I principali modelli usati in ambito scientifico: considerazioni epistemologiche ed esempi; alcuni richiami sugli strumenti matematici; breve introduzione sulla teoria della propagazione on-dosa; indicazioni sintetiche sull'utilizzo dei supporti di calcolo per le applicazioni, per esempio a) Matlab con i relativi Toolbox, b) il programma di modellazione e simulazione FEMLAB, con i rispettivi moduli aggiuntivi, che lavora in ambiente Matlab e c) Fluent.

### **Sezione 2: Fenomeni di evoluzione termo-meccanica in un continuo**

Struttura delle equazioni della fisica-matematica: leggi di bilancio ed equazioni costitutive; classificazione dei modelli in base alla loro struttura differenziale; principali modelli della termo-meccanica dei continui solidi e fluidi; esempi ed applicazioni riguardanti la propagazione del calore, la fluidodinamica anche in presenza di moti turbolenti e fenomeni di propagazione non lineare, in particolare onde d'urto.

### **Sezione 3: Analisi delle immagini per applicazioni scientifiche**

Dagli oggetti alle immagini; modelli e algoritmi per la ricostruzione, il restauro e l'analisi delle immagini; modelli per la misura del colore.

### **Sezione 4: Analisi multidimensionale dei dati**

La costruzione delle matrici dei dati; il modello dell'analisi fattoriale esplorativa; analisi in componenti principali e criteri di interpretazione; esempi ed applicazioni numeriche.

### **Sezione 5: Modelli e metodi di simulazione su strutture materiali**

Modelli in scala, modelli matematici discreti, modelli fisici e modelli virtuali: vari esempi di integrazione ed applicazioni a casi significativi.

### **Bibliografia sintetica**

I. MÜLLER, T. RUGGERI, *Rational Extended Thermodynamics*, Springer Tracts in Natural Philosophy vol. 37, 2ª edizione, Springer-Verlag editore, 1998.

A. N. TICHONOV, A. A. SAMARSKIJ, *Equazioni della Fisica Matematica*, edizioni Mir, 1981.

G. B. WHITHAM, *Linear and Nonlinear Waves*, John Wiley & Sons, 1974.

C. OLEARI (a cura di), *Misurare il colore*, Hoepli editore, 1998.

S. BOLASCO, *Analisi Multidimensionale dei Dati*, Carrocci editore, 1999.



**MODELLISTICA DEI SISTEMI ELETTROMECCANICI****BO, cds: E**

Docente: Angelo Tani ric.

*Introduzione ai sistemi elettromeccanici:*

Bilanci energetici in sistemi in quiete e in moto; calcolo delle forze mediante variazione di energia e coenergia; analisi di campo di tipo monodimensionale e bidimensionale; tensore di Maxwell; forze di attrazione, scorrimento, succhiamento e magnetostrizione; magneti permanenti.

*Soluzione numerica dei campi:*

Equazione di Poisson e condizioni al contorno; formulazione variazionale per campi stazionari; metodo delle differenze finite; metodo degli elementi finiti; studio del campo magnetico piano; elementi triangolari; calcolo dei coefficienti di auto e mutua induzione di bobine in sistemi a levitazione elettromagnetica; calcolo delle induttanze di dispersione in cava ed in testata; calcolo di forze; esempi di applicazione al calcolatore.

*Dinamica dei sistemi elettromeccanici:*

Metodi di integrazione numerica di sistemi di equazioni differenziali; studio del comportamento dei sistemi elettromeccanici per piccoli spostamenti mediante linearizzazione; comportamento dinamico di un sistema di levitazione di tipo elettrodinamico; smorzamento passivo ed attivo delle oscillazioni meccaniche; comportamento dinamico di un sistema di levitazione di tipo elettromagnetico.

*Componenti complesse per lo studio di sistemi trifase.*

Definizione di componenti complesse ed omopolari; studio di sistemi in regime periodico mediante sviluppo in serie delle componenti complesse; legame fra potenza istantanea e componenti complesse; relazione fra componenti complesse e variabili d'asse  $d$  e  $q$ ; generalità sullo studio delle macchine rotanti mediante componenti complesse; utilizzo delle componenti complesse per lo studio di un inverter tipo VSI.

*Studio delle macchine elettriche mediante variabili complesse:*

Legame fra componenti complesse di corrente e armoniche spaziali di forza magnetomotrice al traferro; equazioni differenziali in forma complessa, espressione della coppia; stima dei parametri di macchina mediante misure a morsetti; modello dinamico delle macchine elettriche con perdite nel ferro; modello dinamico delle macchine elettriche con saturazione magnetica; controllo vettoriale universale; applicazione del Controllo Diretto di Coppia (D.T.C.) alle macchine asincrone.

*Controlli adattivi:*

Stima on-line dei parametri di un sistema elettromeccanico mediante metodo dei minimi quadrati; controllo tipo MRAS; regola del gradiente; teorema di Lyapunov.

*Controlli Fuzzy*

Introduzione alla Fuzzy Logic; variabili linguistiche, fuzzy sets e funzioni di appartenenza; processo di inferenza; applicazioni nell'ambito del controllo dei sistemi elettromeccanici.

*Reti neurali:*

Neuroni artificiali e funzioni di attivazione; reti neurali multistrato; istruzione della rete mediante algoritmo di back propagation; utilizzo delle reti neurali per la modellizzazione e il controllo dei sistemi elettromeccanici.

L'insegnamento è integrato da esercitazioni al calcolatore ed in laboratorio.

**MODELLISTICA E CONTROLLO DEI SISTEMI AMBIENTALI**Docente: **Roberto Guidorzi** prof. ord.

*Elementi di Teoria dei Sistemi.* I modelli dei sistemi dinamici. Risposte e moti. Uscite e stati di equilibrio. I sistemi lineari. Raggiungibilità e osservabilità. Stabilità dei moti e delle risposte. Stabilità degli stati e delle uscite di equilibrio. Stabilità "in piccolo" e "in grande". I criteri di stabilità di Liapunov. Linearizzazione dei sistemi non lineari. Moto e risposta dei sistemi lineari continui e discreti. I modelli discreti dei sistemi continui. Sottospazi di raggiungibilità, controllabilità, osservabilità e ricostruibilità. La scomposizione canonica di Kalman. I modelli ingresso-uscita dei sistemi lineari. Realizzazione della risposta impulsiva e di sequenze di ingresso-uscita di un sistema lineare.

*La modellazione dei sistemi dinamici mediante identificazione.* Il problema dell'identificazione. I modelli ARX. Criteri di scelta del modello. La stima dei parametri con l'algoritmo dei minimi quadrati. Identificabilità e scelta degli ingressi. Polarizzazione e consistenza della stima. I minimi quadrati ricorsivi e pesati. Covarianza della stima e proprietà statistiche dei residui. Efficienza della stima dei minimi quadrati. Validazione dei modelli identificati. I modelli AR per la modellazione di serie temporali. Esempi di applicazione di tecniche di identificazione a processi reali.

*Modellistica, calibrazione dei parametri e gestione dei sistemi ambientali.* Trasformate di Laplace (TL): definizione, teoremi principali, applicazione delle TL alla soluzione di equazioni differenziali ordinarie ed alle derivate parziali. Metodo del potenziale per la determinazione delle traiettorie di sistemi nonlineari. Metodi numerici per la soluzione di sistemi di equazioni differenziali alle derivate parziali. Dinamica di una popolazione: crescita logistica, mappa quadratica e caos, diagramma delle biforcazioni. Sistemi di due popolazioni interagenti: equazioni di Volterra. Modello della diffusione di una epidemia. Flussi di energia in un ecosistema: modello di Odum e Patten. Modello di Nash e Rinaldi di un tratto di fiume. Equazioni del trasporto e della diffusione. Dinamica dell'inquinamento fluviale: modello di Streeter e Phelps e sua generalizzazione. Modello della fioritura algale. Modello della morfogenesi. Calibrazione dei parametri dei sistemi ambientali: minimi quadrati non lineari, metodo della massima pendenza, metodo delle derivate seconde e del semplice. Identificabilità strutturale dei sistemi dinamici non lineari: criterio di Pohjanpalo e analisi di sensitività. Esempi di applicazioni delle metodologie descritte nel corso a sistemi ambientali.

**Esame**

La valutazione finale include la consegna e discussione di un elaborato individuale relativo alla individuazione di un processo reale ed una prova scritta basata su domande a risposta multipla ed esercizi.

**Bibliografia**

- R. GUIDORZI, *Elementi di teoria dei sistemi e Identificazione* (dispense).  
 S. MARSILI-LIBELLI, *Modelli matematici per l'ecologia*, ed. Pitagora, Bologna, 1989.  
 E. BELTRAMI, *Mathematics for dynamic modeling*, Academic Press, N.Y., 1987.

## MODELLISTICA E INGEGNERIA DEI MATERIALI ELETTRICI

BO, cds: E

Docente: Luciano Simoni prof. ord.

L'Ingegneria dei materiali studia la resistenza dei materiali alle sollecitazioni, statiche e dinamiche, e la sua evoluzione nel tempo causata dall'effetto degradante delle sollecitazioni stesse e dei fattori di invecchiamento (degradazione termica dei materiali organici, fenomeni di fatica, corrosione dei materiali, effetti delle radiazioni, ecc.).

La determinazione delle sollecitazioni ammissibili o, reciprocamente della vita in servizio (*Life prediction*), è basata su considerazioni fisiche, fenomenologiche e statistiche.

La resistenza a lungo termine alle sollecitazioni invecchianti (*endurance*) costituisce una proprietà fondamentale dei materiali e rappresenta il fattore determinante con cui il materiale contribuisce alla affidabilità (*reliability*) di un sistema, che è grandezza essenzialmente statistica.

Fra i materiali elettrici viene data particolare enfasi agli *isolanti*. I materiali *magnetici* vengono esaminati soprattutto in relazione alla valutazione delle condizioni di operabilità, in particolare la scelta del valore del campo B di servizio e i fenomeni che lo limitano. I materiali *semiconduttori* vengono trattati in modo schematico, essendo oggetto di altri Insegnamenti.

### Programma

La prima parte è dedicata alla ripresa di argomenti in parte noti:

1. Una sintesi delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali più usati, quali metalli e resine sintetiche, e delle principali tecnologie cui vengono sottoposti.
2. Richiamo dei principi fondamentali dell'Elettromagnetismo.
3. Fondamenti di statistica applicata.

I *materiali isolanti* come dielettrici (polarizzazione dielettrica, permittività, rilassamento e perdite). Calcolo del gradiente nei cavi ad alta tensione e differenza di comportamento in corrente continua e in corrente alternata. La scarica negli isolanti solidi, esaminata sia da un punto di vista fenomenologico (scarica per instabilità termica) che statistico (effetto dimensionale, distribuzione di Weibull). Rigidità dielettrica. Studio delle scariche parziali e del canale ramificato di scarica (*treeing*). Teorie statistiche e relazione fra probabilità di guasto e affidabilità.

*La resistenza a lungo termine degli isolanti (Endurance).*

A) Thermal endurance. Degradazione termica e teoria della velocità di reazione: modello di Arrhenius; il criterio di guasto e le prove di vita termica. Modelli di vita termica. L'effetto di compensazione. *Temperature index* e *halving interval* come indici per la valutazione della resistenza alla sollecitazione termica.

B) Teoria fenomenologica di invecchiamento. Rapporto fra *Strength* e *Endurance*. Definizione dell'Invecchiamento globale o cumulativo (*Total ageing*) come funzione della resistenza a breve termine (*strength*) e sua variazione nel tempo. Limite di invecchiamento e durata di vita. Aspetti geometrici: la linea di vita come intersezione della superficie di invecchiamento col piano di guasto.

C) Voltage endurance. Prove convenzionali, prove a frequenza aumentata, prove a tensione crescente (carico progressivo). Analisi statistica dei dati. Modelli (inversa potenza, esponenziale con o senza soglia, a 3 o 4 parametri). L'equazione dell'invecchiamento elettrico. Il coefficiente di Voltage Endurance come indice per la valutazione dell'Endurance elettrica. Estensione della definizione nel caso di modello curvilineo. Il metodo N per il tracciamento della linea di vita.

D) Resistenza alle sollecitazioni combinate. L'approccio geometrico. Superficie di vita e modello di vita per materiali non sogliati. Condizioni cui devono sottostare i modelli. L'anello di invecchiamento (*ageing loop*). Materiali sogliati. Il metodo di analisi combinata dei dati. Modello generale di vita combinata.

E) Multi-stress endurance. Modello di vita con 3 sollecitazioni (elettrica, termica e meccanica). Il modello generale di invecchiamento valido per qualunque tipo di sollecitazione. Le superfici a vita predeterminata per la valutazione della resistenza in condizioni di *multistress*.

*Esempi di dimensionamento dell'isolamento.* Progetto termico ed elettrico di un cavo alta tensione. Ottimizzazione del progetto di un condensatore di potenza, ed evoluzione di questo importante componente come esempio dell'evoluzione dei materiali isolanti, legata non solo a problemi tecnici, ma anche economici ed ecologici.

I principali *materiali magnetici* e le loro applicazioni, con particolare risalto ai materiali a cristalli orientati. Criteri per il dimensionamento dei nuclei magnetici. Magneti permanenti.

L'Insegnamento si collega agli Insegnamenti di "Principi di Ingegneria elettrica", "Macchine elettriche" ed "Impianti elettrici", e con gli Insegnamenti tecnologici successivi.

Le *dispense* dell'Insegnamento sono editate dalla CLUEB.

## MODELLISTICA IDRAULICA

BO, cds: C

Docenti: **Gianni Luigi Bragadin** prof. ord.

Misure sistematiche di grandezze idrometeorologiche e loro organizzazione.

Modelli fisici. Similitudine meccanica: similitudine di Reynolds; similitudine di Froude, modelli a scale distorte. Modellazione di correnti a fondo mobile.

Modelli matematici: generalità. Modellazione di moto permanente e vario nelle reti in pressione e a pelo libero, della diffusione e dispersione di inquinanti, uso di modelli commerciali.

*Esame* L'esame è costituito da una prova orale, integrata dalla presentazione di semplici modelli matematici eseguiti dallo studente

### Bibliografia

G. BRAGADIN, *Esercizi di Idraulica*, Cedam 1998

U. PUPPINI, *Idraulica*, Zanichelli, 1947.

M. FAZIO, *Manuale delle unità di misura*, ISEDI, Milano, 1973.

A.T. TROSKOLANSKI, *Tezhèorie et pratique des mesures hydrauliques*, Dunod 1962.

## MOTO DEI FLUIDI E TERMOCINETICA L

BO, cds: N

Docente: **Enzo Zanchini** prof. ord.

### Finalità dell'Insegnamento

L'Insegnamento si propone di fornire le nozioni e le metodologie di base della fluidodinamica e della trasmissione del calore, finalizzate allo studio dei sistemi di conversione, trasferimento e controllo dell'energia.

### Fluidodinamica

Definizioni elementari – Moto laminare e moto turbolento – Strato limite dinamico – Viscosità – Fluidi e newtoniani e non newtoniani – Tensioni in un fluido in moto – Derivata locale e

derivata sostanziale – Equazione di continuità – Equazione vettoriale di Navier – Casi semplici di moto laminare con densità costante – Cenno alla teoria dello strato limite – Equazione integrale di bilancio dell'energia meccanica – Prevalenza – Perdite di carico – Fattore di attrito – Diagramma di Moody – Perdite di carico concentrate – Pressione effettiva – Misure di velocità e di portata.

#### **Conduzione termica**

Legge di Fourier – Equazione di Fourier – Casi semplici di conduzione stazionaria in geometria piana, cilindrica e sferica – Resistenza termica, resistenze termiche in serie e in parallelo – Cenno alla conduzione non stazionaria monodimensionale (equazione del calore) – Esempio di conduzione stazionaria con generazione uniforme, in geometria cilindrica – Misura della conducibilità termica.

#### **Convezione termica**

Distinzione fra convezione forzata, naturale e mista – Equazioni fondamentali del moto non isoterma – Approssimazione di Boussinesq – Coefficiente di convezione e numero di Nusselt – Adimensionalizzazione delle equazioni e relazione  $Nu = Nu(Re, Gr, Pr)$  in convezione mista – Strato limite termico – Convezione forzata: dipendenza  $Nu = Nu(Re, Pr)$ , casi particolari, esempi – Convezione naturale: dipendenza  $Nu = Nu(Gr, Pr)$ , casi particolari, esempi.

#### **Irraggiamento termico**

Definizioni – Cavità isoterma e corpo nero – Leggi di Kirchhoff, di Stefan-Boltzmann, di Planck, del regresso di Wien, di Lambert – Corpo grigio – Scambi di energia per irraggiamento fra corpi neri e grigi – Fattori di forma – Cenno ai corpi non grigi – Coefficiente di irraggiamento.

#### **Problemi composti di scambio termico**

Coefficiente di adduzione – Resistenza termica globale e coefficiente globale di scambio termico – Esempi in geometria piana e in geometria cilindrica – Superfici alettate: generalità; distribuzione di temperatura in un'aletta piana sottile ed efficienza dell'aletta.

*Esame orale.*

#### **Bibliografia Obbligatoria**

E. ZANCHINI, *Dispensa di Moto dei Fluidi e Termocinetica per Ingegneria Energetica*, disponibile presso la Biblioteca della Facoltà di Ingegneria.

## **NAVIGAZIONE AEREA L**

Docente: Nevio Chiarini prof. inc

**FO, cds: dua, cla**

#### **Finalità.**

Il corso si propone di introdurre le nozioni basiche della navigazione aerea nel contesto della conduzione del volo aeronautico. L'insegnamento vuole fornire una sintesi a livello operativo delle nozioni tecniche acquisite con i precedenti corsi dell'orientamento "Operazioni di volo", con particolare riferimento alle discipline della meccanica del volo, dell'avionica e radiocomunicazioni, dei controlli automatici, degli impianti e della strumentazione aeronautica. L'esposizione in aula e le relative esercitazioni tendono a rendere familiari agli allievi le procedure di conduzione di un velivolo con elementi di valutazione delle prestazioni che diversi sistemi di navigazione possono fornire.

#### **Programma**

Introduzione alla navigazione aerea: caratteristiche e requisiti dell'aviazione civile; la navigazione nel contesto del volo aeronautico.

Richiami di geografia ed astronomia: le coordinate geografiche; le unità di misura di spazio, velocità, tempo; il magnetismo terrestre.

Le carte geografiche e carte di navigazione: la classificazione in base alle modalità di costruzione; le carte suggerite dall'ICAO per la pianificazione, per la navigazione strumentale e per la navigazione a vista.

Gli strumenti di volo: caratteristiche ed uso degli strumenti basati sui dati aria; le bussole magnetiche, gli strumenti basati su giroscopi ed accelerometri.

La navigazione stimata ed i concetti fondamentali della navigazione aerea.

La navigazione a vista: la pianificazione e la condotta del volo.

Richiami di radiotecnica relativamente agli aspetti pertinenti la radionavigazione.

La navigazione radiogoniometrica: le stazioni radiogoniometriche ed il radiogoniometro di bordo.

Le radioassistenze alla navigazione: il VOR, il DME ed il TACAN; gli strumenti complessi (RMI e HSI).

L'avvicinamento strumentale: l'impiego dello ILS, procedure e carte di avvicinamento, le tecniche nuove.

La navigazione LORAN: gli apparati di terra e di bordo; la navigazione d'area.

I sistemi di navigazione a lungo raggio: cenni storici e sviluppo dell'elaborazione e presentazione dati.

La navigazione inerziale: le piattaforme stabilizzate, l'impiego dello INS e le installazioni multiple.

La navigazione satellitare: la determinazione della soluzione di navigazione, l'architettura del sistema GPS, la struttura del segnale ed i ricevitori, prestazioni del GPS, il controllo in tempo reale, l'impiego e gli sviluppi del sistema.

Il controllo automatico del volo (AP/FD), i sistemi di gestione della navigazione e del volo (FMS).

Esercitazioni in laboratorio tramite simulazione di volo a vista e strumentale.

### Bibliografia

M. E. PENATI, G. BERTONI: *Automazione e sistemi di controllo*, voll. I (1998) e II (2000), Esculapio, Bologna.

J. POWELL: *Aircraft Radio Systems*, Pitman, 1981.

R. TREBBI: *Strumentazione e Navigazione*, AVIABOOKS, Torino, 2ª edizione 1998. Dispense del docente.

## ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE

BO, cds: D, C

Docente: **Claudio Comani** prof. ass.

### Premessa

La concorrenza imprenditoriale, la necessità da parte degli Enti Pubblici e degli investitori privati di ottimizzare l'impegno delle risorse investite nel processo edilizio e più in generale dell'industria delle costruzioni, la sempre maggiore domanda di qualità edilizia richiedono competenze professionali capaci di gestire le attività che consentono di attuare le scelte di progettazione e di gestire il processo operativo fino alla fase della gestione del prodotto edilizio o dell'industria delle costruzioni.

## Obiettivi

L'insegnamento si prefigge lo scopo di contribuire, nell'ambito dei Corsi di Laurea di Ingegneria Civile e Edile, a formare una figura culturale e professionale capace di pianificare, programmare e controllare le azioni tecniche e quelle economiche che consentono di razionalizzare il processo di produzione e l'impiego delle risorse economiche necessarie alla realizzazione delle scelte di progetto.

## Programma delle lezioni

1. I modelli operativi di processo edilizio e il ruolo degli operatori: committente, progettista, impresa di costruzione generale, imprese specialistiche, produttori di componenti, direttore dei lavori, collaudatore.

- Le imprese edili e dell'industria delle costruzioni: storia, organizzazione, figura giuridica, specializzazione, attività imprenditoriale.

- Lo studio dell'appalto. La definizione e i contenuti delle varie forme di appalto, i tipi di progetto, la documentazione del progetto esecutivo;

- Lo studio del progetto per la sua realizzazione;

- Lo studio delle norme relative alle autorizzazioni amministrative per l'esecuzione dei lavori, all'accettazione ed all'impiego dei materiali, a quelle per la sicurezza sul lavoro e sulla direzione dei lavori.

2. La progettazione operativa.

Lo studio dei cicli di produzione: la classificazione delle partizioni di lavoro; la determinazione dei tempi e delle risorse necessarie; la scelta;

Il tipo e la logistica delle attrezzature: le macchine da cantiere con riferimento ai rendimenti, al costo di esercizio e manutenzione, agli ammortamenti.

Il controllo della produzione e della qualità.

La progettazione delle attività e delle risorse tecnico-finanziarie;

Tipologia di cantieri edili e loro unità operative.

3. La sicurezza del cantiere

La legislazione vigente relativa al benessere e alla sicurezza dei lavoratori nei cantieri edili.

Ruolo e responsabilità degli operatori previsti dalla legislazione;

Manuale e Piano della sicurezza;

La normativa tecnica sulla sicurezza.

4. La progettazione economica.

Preventivazione dei costi: costi diretti e indiretti di cantiere e di impresa; costi fissi e variabili, costi a consuntivo e a preventivo.

Metodi di contabilizzazione dei costi nei contratti di appalto.

Il parametro economico per la scelta delle macchine.

La contabilità industriale

Il controllo di gestione della commessa.

5. La programmazione delle partizioni di lavoro e delle risorse tecnico-finanziarie.

Definizione e obiettivi della programmazione.

Modelli di programmazione grafici e matematici: diagrammi a scaletta, GANTT, PERT, CPM.

Ottimizzazione del rapporto tempo-costi.

## 6. Esecuzione e condotta dei lavori pubblici.

- Analisi della legislazione vigente;
- Gli strumenti per la contabilità delle opere pubbliche;
- La responsabilità degli operatori.

### Esercitazioni

Le esercitazioni del Corso si svolgono attraverso visite a cantieri di opere edili e di opere pubbliche con la partecipazione di impenditori, direttori tecnici, addetti alla contabilità industriale, programmatori, collaudatori, direttori dei lavori.

### Riferimenti bibliografici di base

- C. COMANI, *La progettazione degli edifici per l'industria*, Bordigiani, Bologna.  
 L. GALLETI, *Elementi di Ergotecnica edile*, CLUP, Milano 1973.  
 M. LA CAVA, C. SOLLUSTRI, *Progettare il cantiere*, NIS, Roma 1991.  
 M. MAGGI  
 G.B. ORMEA, *Tecnica e Organizzazione del cantiere*, Utet, Torino 1973.  
 M. PICONE, *Tecnologie della produzione edilizia*, Utet, Torino 1984.

## ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE

BO, cds: D

Docente: **Marco Alvise Bragadin** prof. inc.

### Obiettivo

Obiettivo del laboratorio è quello della conoscenza degli strumenti per pianificare, programmare e progettare il cantiere.

A partire dalla riflessione sulle componenti del progetto e dalla sua analisi, si approfondisce il tema della strumentazione per l'organizzazione e la gestione del processo produttivo in cantiere.

Il metodo di lavoro ha l'obiettivo di consentire allo studente, a partire dai capisaldi teorici e di conoscenza della pratica di cantiere forniti, di gestire la simulazione di una situazione reale, anche con l'ausilio di strumenti informatici.

A tal fine i temi di lavoro saranno scelti per permettere allo studente di sperimentare metodi e strumenti proposti dal docente.

### Programma sintetico

1. Il riconoscimento del progetto
  - 1.1. La WBS
  - 1.2. Il computo metrico
  - 1.3. Lo schema della produzione
  - 1.4. Le schede di procedimento
2. L'applicazione delle tecniche reticolari
  - 2.1. Il CPM
  - 2.2. Il PDM
  - 2.3. Il PERT
3. La progettazione del layout di cantiere.



### Riferimenti bibliografici di base

- LACAVA M. SOLUSTRI C. *Progetto e sicurezza del Cantiere*, NIS, Roma 1996.  
 PICONE M. *Tecnologia della Produzione edilizia*, Utet, 1984.  
 AUTERI A. DIBENNERO U. PASQUA A. *Il cantiere edile*, NIS Roma 1996.  
 AMATO R. CHIAPPI R. *Tecniche di project management* FrancoAngeli, Milano.  
 FLORES A., CONTI M. *Manuale della sicurezza nel cantiere*, Il sole 24 ore Pirola, Milano, 1998.  
 GOTTFRIED A., TRANI M.L. (a cura di) *Il coordinatore per la sicurezza nelle costruzioni in fase di progettazione ed esecuzione* Maggioli, Rimini, 1997.  
 COMANI, C. *La progettazione degli edifici per l'industria*, Bordigiani, Bologna.  
 ZIGNOLI V. *Costruzioni edili*, Utet, Torino, 1974.

### ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE E SISTEMI LOGISTICI FO, cds: clm

Docente: **Piero Bonicelli della Vite** prof. inc.

**FINALITÀ:** introdurre gli studenti ad una visione della gestione delle operazioni e dei materiali. Oltre agli aspetti specifici del sapere cosa sono curati nella prima parte del corso gli aspetti del saper come: metodi di analisi e studio dei processi e delle operazioni, tecniche di gestione dei progetti.

#### CONTENUTI:

Introduzione alla gestione della Produzione. La produzione come creazione di beni e servizi. Strategie e principi competitivi

L'imperativo della Qualità. TQM e competitività. Progettazione per la qualità di prodotti, servizi e processi. Quality Function Deployment. Obiettivi della progettazione.

Controllo della Qualità e miglioramento dei processi. Tecniche di analisi dei processi.

Gestione e previsione della domanda.

La pianificazione della capacità produttiva. Strategie e politiche di capacità. La programmazione principale. I sistemi di controllo di flusso. Gestione dei ritardi. I colli di bottiglia e la teoria dei vincoli. La valutazione delle prestazioni.

Gli approvvigionamenti. Outsourcing ed argomenti correlati. Decisioni di make or buy. Politiche e procedure di acquisto.

La gestione dei tempi e dei materiali. Sistemi push e sistemi pull. Kanban. La gestione della domanda dipendente e indipendente. La distinta base (gestione e valorizzazione). La preventivazione dei costi di prodotto MRP e sue evoluzioni. Punto di riordino e Sistemi periodici - Le scorte di sicurezza.

Dimensionamento dei lotti e tempi di attraversamento. JIT e produzione snella.

Simulazione: metodologia ed applicazioni.

Analisi dei processi e dei lay-out. Studio e progettazione del lay-out.

La gestione della produzione: continua e ripetitiva, intermittente e a lotti.

Precedence diagramm. Progettazione e bilanciamento delle linee.

La programmazione operativa. I lead time di produzione, i lavori in corso, il diagramma di Gantt, il loading delle macchine.

Il project management. Risorse e gestione dei progetti. Tecniche reticolari base Pert e CPM. Produttività: definizioni, tecniche. Progettazione delle mansioni e attività (job design). Studio ed analisi del lavoro: approccio metodologico. Le misurazioni del lavoro e i tempi standard.

La catena logistica: logistica e strategia competitiva, il concetto di Supply chain. Logistica industriale e commerciale.

*Testi di riferimento:*

*Operations Management For Competitive Advantage*, CHASE, AQUILANO, JACOB, Mc GrawHill, 9 edition.

*Gestione della Produzione*, R.J. SCHONBERGER, E.M. KNOD, Mc GrawHill, 6.a ed.

Consultazione: *Principles of Inventory and Materials Management*, TERSINE, NorthHolland, 3.th ed.

**ESAMI**

Vengono effettuate due prove, una scritta ed una orale, per ogni sessione di esami. Gli studenti che intendono presentarsi alla prova scritta debbono iscriversi nella lista predisposta entro il 3° giorno ferialo precedente. Alla prova scritta superata positivamente, segue prova orale.

Gli studenti possono sostenere più prove scritte all'interno di una stessa sessione o in sessioni successive, ma viene riconosciuto soltanto l'esito dell'ultima prova sostenuta (e non l'esito migliore).

## **ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE E DEI SISTEMI LOGISTICI**

**BO, cds: G\_BO, M, I**

Docente: **Enrico Sobrero** prof. straord.

*Finalità del corso*

È quella di dare, tenuto conto della diversità dei curricula degli studenti che si rivolgono al corso in oggetto, un inquadramento sistematico delle diverse realtà di produzione e della stretta connessione della funzione di produzione con le altre funzioni aziendali nonché degli aspetti tipici che governano in modo specifico la funzione produzione. In particolare, partendo dall'analisi delle grandezze atte a misurare i diversi fattori della produzione, della loro influenza e della loro importanza, ci si prefigge di fornire un quadro complessivo che comprenda i diversi aspetti di programmazione della produzione (da quella aggregata a quella operativa), di gestione dei materiali, di installazione e gestione di sistemi di qualità fornendo criteri e tecniche applicative, supportate da esempi pratici, al fine di consentire non solo l'acquisizione di possibili strumenti di impiego pratico, ma anche la maturazione di autonome capacità di analisi di problemi e di situazioni connesse ai sistemi produttivi.

*Programma*

- Inquadramento dei sistemi produttivi ed approccio strategico alle scelte di produzione.
- Analisi tipologica et confronto sistematico dei processi produttivi: sistematizzazione tridimensionale e matrice prodotto/processo di Hayes e Wheelwright. Analisi dei tipi di layout per processi di lavorazione/montaggio. Caso della produzione di "servizi" ed analisi della matrice processo/servizio: problemi specifici connessi alla produzione di servizi.
- Le misure delle prestazioni dei sistemi logistico/produttivi (produttività, servizio, flessibilità): definizioni concettuali, espressioni analitiche di calcolo degli indici di prestazione.
- Il ruolo del *lead time* nelle misure delle prestazioni in termini di servizio: analisi del ciclo dell'ordine e sua scomposizione.
- La qualità: concetti e definizioni. Legami qualità/prestazioni aziendali. Assicurazione di Qualità e Qualità totale. Modalità per realizzare la Qualità in azienda. Normative nazionali ed internazionali. L'approccio occidentale e quello giapponese. Dimensionamento di interventi per il miglioramento della qualità. Pianificazione e programmazione d'interventi di miglioramento della qualità. Qualità nella progettazione e nei processi. Rilevazioni e misurazioni inerenti la qualità.

- La previsione della domanda: inquadramento generale. Criteri deterministici e stocastici. Analisi di tipologie di distribuzione probabilistica della domanda: Gauss, Poisson, Binomiale ecc. e richiamo sui parametri caratteristici delle distribuzioni di variabili aleatorie.

Sistematizzazione dei modelli di previsione (equponderali senza trend, con trend, ciclici; autoadattivi) e metodi di calcolo delle previsioni a partire da serie storiche di dati. La correlazione fra modelli di previsione e la Programmazione e Controllo della Produzione PCP.

- L'oggetto e lo scopo della PCP. Il problema della riconciliazione fra domanda e risorse produttive. Le fasi logiche e sequenziali della PCP: il controllo "feed-forward" della PCP. Il diagramma "rolling" della PCP e le relazioni fra gli orizzonti temporali.

- Il Production Plane (PP): oggetto, finalità, metodi di impostazione, calcolo dei fabbisogni (da data domanda) con varie tecniche (overall factors, prodotti rappresentativi, capacity bills, resources profiles). Costi rilevanti per la definizione di un PP, metodi e leve di intervento per aumentare la capacità produttiva: formulazione di PP con la simulazione "what if".

- Il Master Production Schedule (MPS) e sue relazioni con tempi mercato e tipo di produzione. MPS: oggetto, finalità, metodi di impostazione, formulazione secondo la tecnica "time phased records"; concetto della "disponibilità a promettere" e sua utilizzazione.

- Sistemi MRP 2: logica di funzionamento e loro strutturazione.

- La Programmazione Operativa della Produzione (Final Assemble Schedule/Scheduling): raccordo con MPS e fasi logiche. *Loading*: tabelle di carico macchina, diagrammi di carico, diagrammi di Gantt. *Sequencing*: variabili indipendenti e dipendenti e loro caratterizzazione, legami fra le variabili dipendenti, possibili indici di valutazione per la ricerca della sequenza ottimale. Criteri di ottimizzazione: sistemi Monostadio (Short processing Time, Due Date, Set Up Time, Slack Time), sistemi Monostadio con macchine in parallelo (frazionamento del Job consentito od impedito), sistemi pluristadio tipo flow-shop (criterio di Johnson e derivati), sistemi pluristadio tipo job-shop. Soluzioni di casi reali.

- Problematiche dei sistemi di produzione continui e ripetitivi (takt time, allineamento, produzioni a caselle regolari, a modello misto, bilanciamento di linee ecc.).

- La gestione dei materiali e delle risorse produttive: collegamenti con i tipi di domanda ed analisi dei tipi della domanda.

- Metodi di gestione dei materiali (GM) e delle risorse produttive: problematiche di politica e gestione delle scorte, legami con politiche di acquisto e di logistica dei materiali, tipologie dei beni a scorta. GM a domanda indipendente ed a domanda dipendente: considerazioni generali sulle logiche e sull'applicabilità. Costi caratteristici che intervengono nella GM, livello di servizio, frattile critico, legami con la probabilità cumulata di una data distribuzione stocastica e metodologie di calcolo dei diversi parametri.

- Tecniche di gestione *looking-back*: a "tempo fisso (Re Order Cycle - ROC)", a "quantità fissa (Re Order Level - ROL)", a "valore": trattazione completa con espressioni dei valori ottimali dei diversi parametri in gioco e valutazioni numeriche. Lotto economico di produzione: caso limite di produzione di un unico prodotto ed estensione ad N lotti di prodotti simili con ottimizzazione del problema sulla base della minimizzazione dei costi di produzione dell'intero ciclo. Applicazione pratica ad un caso di produzione a lotti su specifico impianto produttivo.

- Tecniche di gestione *looking-ahead*: MRP (Material Requirements Planning), logica di funzionamento ed elementi informativi necessari; distinte base, cicli di lavorazione e loro caratteristiche, archivio strutture. Lead time e sua articolazione. Le tre sottofasi dell'MRP: *netting*, *lead time offsetting*, *explosion*., dinamica del sistema MRP ed esempi di netting ed offsetting. Forward scheduling e backward scheduling. Fabbisogni informativi necessari ed enti aziendali coinvolti. Inserimento di un sistema MRP nella gestione di impresa: aspetti organizzativi, aspetti inerenti ai dati ed alla loro accuratezza, aspetti di costo.

Capacity Requirement Planning (CRP): aspetti connessi ai sovraccarichi, caso di capacità in-

finita e finita con gestione degli slittamenti in avanti ed indietro. MRP e Lot Sizing: esempi di gestione a lotti di un MRP. Considerazioni finali sui sistemi MRP.

– Cenni ai sistemi *Just In Time* (JIT).

*Propedeuticità consigliate:* Economia ed organizzazione aziendale

### Testi

R.J. SCHONBERGER, E.M. KNOD JR. - *Operation Management/Gestione della Produzione* - Edizione Italiana - Mc Graw Hill. (Testo di riferimento). ISBN 88 386 0806-7

### Consigliati

A. GRANDO - "*Organizzazione e Gestione della Produzione Industriale*", EGEA

R. MIRANDOLA & Al. - "*Sistemi Qualità*", ETS Editrice Pisa

F. DA VILLA - "*Logistica Manifatturiera*", ETAS Libri.

A. BRANDOLESE, A. POZZETTI, A. SIANESE - "*Gestione della Produzione Industriale*", HOEPLI Ed.

E. MASTURZI, "*Organizzazione e Gestione della Produzione Industriale*", LIGUORI Ed.

R.J. TERSINE, "*Production/Operations Management*", NORTH HOLLAND.

R.G. SCHROEDER, "*Operation Management*", McGraw-HILL.

### Dispense interne

A complemento del testo di riferimento, verranno fornite agli studenti dispense durante lo svolgimento del corso.

## **ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE E DEI SISTEMI LOGISTICI L**

BO, cds: G\_Bo, P

Docente: **Mauro Marini** prof.inc.

### *Concetti base*

Il servizio al Cliente.

Controllo, valore, qualità.

La gestione della variabile tempo nelle imprese.

Punto di disaccoppiamento.

Sistemi push e pull.

### *Variabili che caratterizzano il funzionamento di un sistema produttivo.*

Definizione e discussione dei concetti di flessibilità, elasticità, capacità, produttività, lead time ecc.

Indicatori.

### *Strategia aziendale e scelte nelle operations*

Il legame tra strategia e produzione

Obiettivi di efficacia e di efficienza

Le leve operative

Il coordinamento tra le decisioni

Sequenzialità o parallelismo degli obiettivi

**Processo di pianificazione e controllo della produzione**

L'incertezza: come si manifesta e quali sono gli strumenti per gestirla.

Struttura generale del processo di PCP: fasi, input ed output, orizzonte temporale gestito.

- Previsione e gestione della domanda.
- Pianificazione principale.
- Pianificazione del flusso delle lavorazioni e delle scorte
- Schedulazione.
- Controllo avanzamento produzione.

**Modelli organizzativi e filosofia di produzione.**

Il modello occidentale

Il modello giapponese

**La gestione del sistema di fornitura**

Relazioni con i fornitori.

Outsourcing.

Politiche di approvvigionamento.

**La distribuzione dei prodotti**

Le scelte distributive.

La gestione del canale.

Gestione dei trasporti.

**Il ruolo dei sistemi informatici.**

Potenzialità e limiti dei sistemi informativi a supporto della produzione.

Tipologie di prodotti disponibili sul mercato.

**Oltre i confini dell'impresa: la gestione della supply chain**

Dalla logistica alla supply chain

Relazioni tra imprese e creazione/distribuzione del valore.

Realizzare il coordinamento nelle operations.

**Gestione dei progetti**

Testo adottato:

R. J. SCHONBERGER, E. M. KNOD, *Gestione della produzione*, McGraw-Hill.

**OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA**

Docente: **Paolo Toth** prof. ord.

**BO, cds: T, L, I**

**Scopi**

L'insegnamento si propone di illustrare le tecniche più efficienti per la soluzione dei problemi decisionali complessi che si presentano nella ottimizzazione delle risorse. Particolare attenzione viene dedicata agli aspetti algoritmici e di interpretazione dei risultati. Vengono considerate alcune applicazioni reali delle tecniche proposte.

## Programma

Classificazione dei problemi di ottimizzazione. Modelli matematici. Utilizzazione di package per la soluzione di problemi di programmazione lineare continua e intera.

Problemi di ottimizzazione su grafi - Algoritmi efficienti per la determinazione di assegnamenti ed arboreescenze a costo minimo.

Algoritmi esatti per problemi NP-difficili - Programmazione dinamica: algoritmi per i problemi dello zaino (KP) e del commesso viaggiatore (TSP). Algoritmi branch-and-bound: miglioramento dei rilassamenti, tecnica del subgradiente, criteri di dominanza, problemi di grandi dimensioni; algoritmi per: KP, TSP in grafi orientati e non orientati, problemi di istradamento dei veicoli (VRP) e della copertura a costo minimo (SCP). Algoritmi branch-and-cut: vincoli aggiuntivi, procedure di separazione, problemi di grandi dimensioni; algoritmi per TSP e VRP. Algoritmi branch-and-price: generazione di colonne; algoritmi per problemi di caricamento. Analisi sperimentale delle prestazioni degli algoritmi descritti.

Algoritmi euristici per problemi NP-difficili - Algoritmi costruttivi ad una o più fasi, procedure di ricerca locale: simulated annealing, tabu search; algoritmi per TSP, VRP e SCP. Analisi sperimentale delle prestazioni degli algoritmi descritti.

Applicazioni a casi reali - Problemi di distribuzione dei prodotti da un deposito ad un insieme di clienti. Problemi di trasporto di persone con ridotta capacità motoria. Problemi di assegnazione dei veicoli (autobus e locomotive). Gestione ottimale di un gasdotto.

## Organizzazione ed esami

Il corso prevede lezioni in aula, esercitazioni in aula ed esercitazioni libere in laboratorio.

L'esame prevede prove scritte ed una prova orale integrativa.

## Testi consigliati:

Dispense a cura del docente.

## Testi per consultazione:

G.L. NEMHAUSER, A.H.G. RINNOOY KAN, M.J. TODD (editors), *Optimization*, vol 1, North Holland, 1989.

S. MARTELLO, P. TOTH, *Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations*, Wiley, 1990.

R.K. AHUJA, T.L. MAGNANTI, J.B. ORLIN, *Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications*, Prentice Hall, 1993.

P. TOTH, D. VIGO (editors), *The Vehicle Routing Problem*, SIAM Monographies, 2001.

## PIANIFICAZIONE DEI TRASPORTI

BO, cds: C, G\_BO

Docente: Federico Rupi ric.

## Generalità

L'ingegneria dei sistemi di trasporto ed il processo di pianificazione. I livelli, gli obiettivi e gli strumenti di analisi della pianificazione dei trasporti.

## L'offerta di trasporto.

Modellizzazione del sistema di offerta. Richiami sulla teoria dei grafi e delle reti. Criteri di

zonizzazione, estrazione del grafo, funzioni di costo e vincoli di capacità fisica delle reti di trasporto individuale: esempi pratici. Metodi di rappresentazione dei servizi di trasporto collettivo: reti diacroniche per servizi a bassa frequenza; reti sincroniche per servizi ad elevata frequenza. Grafo delle linee e grafo di accesso/egresso; funzioni di costo; metodi di rappresentazione della fermata. L'inquinamento atmosferico prodotto da traffico stradale: i processi di emissione e di dispersione delle sostanze inquinanti. I modelli statici e dinamici di emissione. I modelli di dispersione: modello box e modello canyon. Metodologie di progettazione ambientale del traffico stradale: il calcolo della capacità ambientale. Esempi applicativi.

#### *La domanda di trasporto passeggeri.*

Richiami sui modelli di utilità casuale (Logit multinomiale e Probit). Il modello Logit gerarchizzato. Fattorializzazione dei modelli della domanda.

#### *La domanda di trasporto merci.*

La domanda di trasporto merci su scala nazionale e regionale. Approccio aggregato e approccio disaggregato. La logistica "esterna": modelli statistici per il calcolo dei tempi e dei costi. L'intermodalità ferro-strada: aspetti funzionali ed economici.

#### *L'interazione domanda-offerta nelle reti di trasporto individuale.*

Classificazione dei modelli di assegnazione. Rappresentazione del comportamento di scelta degli automobilisti. Modelli di equilibrio deterministico. Modelli di equilibrio stocastico. Relazioni fra equilibrio stocastico e deterministico. Road pricing: esempi pratici. Ottimo di sistema. Paradosso di Braess.

#### *Il calcolo dei flussi nelle reti di trasporto individuale.*

Richiami sugli algoritmi di Dijkstra, di L-deque e SNL-Probit. Algoritmo di Frank-Wolfe. Algoritmo di diagonalizzazione. Algoritmo MSA per il calcolo dei flussi di equilibrio stocastico. Esempi applicativi.

#### *L'assegnazione alle reti di trasporto collettivo.*

Rappresentazione del comportamento di scelta degli utenti di servizi di trasporto collettivo ad elevata frequenza. Costo di un ipercammino. Modelli di assegnazione per ipercammini. Algoritmi di calcolo degli iperalberi di minimo costo e di assegnazione della domanda. Esempi applicativi.

#### *La stima della domanda di trasporto mediante conteggi di traffico.*

Il modello lineare di assegnazione. Correzione di un esistente vettore di domanda. Il calcolo della matrice di assegnazione.

#### *Metodi di scelta fra progetti alternativi.*

Richiami sui metodi quantitativi per il confronto di progetti alternativi. Esempi pratici di analisi Benefici-Costi. L'analisi Multicriteria: la matrice di valutazione. Esempi pratici di analisi multicriteria.

#### *Il problema della sicurezza stradale*

La sicurezza stradale in Italia, nei paesi dell'Unione Europea e negli USA. Le azioni possibili per il miglioramento della sicurezza stradale. Ricerche in corso.

**Esercitazioni**

L'insegnamento è integrato da una esercitazione di gruppo che consiste nella redazione di un progetto della rete di una porzione di area urbana. Tale esercitazione, il cui svolgimento è obbligatorio per poter sostenere l'esame, ha l'obiettivo di evidenziare i problemi pratici che si possono incontrare nella costruzione di un modello di rete stradale urbana, nella definizione della domanda e nel calcolo dei flussi sugli archi.

Vengono inoltre forniti gli elementi di base per l'utilizzo di alcuni package software di simulazione disponibili sul mercato (VISUM, ecc.).

**Lezioni seminariali**

I piani urbani del traffico nei comuni della provincia di Bologna: un esame comparato.

**Esame:** orale con discussione del progetto

**Testi consigliati:**

PAOLO FERRARI, *Fondamenti di pianificazione dei Trasporti*, Pitagora Editrice, Bologna, 2001.  
ENNIO CASCETTA, *Teoria e metodi dell'ingegneria dei sistemi di trasporto*, ed. CEDAM, Padova, 1998.

MARINO DE LUCA, *Manuale di Pianificazione dei Trasporti*, FrancoAngeli, Milano, 2000.

ANTONIO PRATELLI, *Ingegneria dei sistemi di trasporto Esercizi ed esempi*, Pitagora Editrice, Bologna, 1998.

MARINO LUPI, dispense del corso di Tecnica ed Economia dei Trasporti.

**PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE**

BO, cds: R, Q, G\_BO

**Docente:** Francesco Santarelli prof. ord.

L'Insegnamento ha per oggetto lo studio del sistema ambiente con le metodologie dell'ingegneria chimica e di processo.

1. *Considerazioni introduttive:* l'ingegneria chimica ambientale.
2. *Il sistema ambiente*
  - 2.1. *L'ambiente* - 0. Generalità. 1. Le tipologie ambientali. 2. Progettazione ambientale. 3. Il sistema informativo ambientale. 4. L'ecosistema e le sue componenti. 5. Modelli ecologici.
  - 2.2. *L'inquinamento ambientale* - 0. Generalità. 1. Conseguenze. 2. Costi.
  - 2.3. *Gli inquinanti ambientali* - 1. Tipi. 2. Proprietà. 3. Parametri caratteristici. 4. Effetti.
  - 2.4. *Le sorgenti inquinanti* - 1. Tipi. 2. Caratteristiche. 3. Monitoraggio. 4. Effetti.
  - 2.5. *Il processo di inquinamento ambientale* - 0. Generalità. 1. Concetti elementari di climatologia, meteorologia e idrologia. 2. Considerazioni di carattere generale sul trasporto e la trasformazione degli inquinanti nell'ambiente. 3. Elementi di ecotossicologia. 4. Monitoraggio ambientale.
  - 2.6. *Interventi contro l'inquinamento ambientale* - 1. Obiettivi (prevenzione, protezione, bonifica). 2. Modalità d'intervento (sulla sorgente, sull'emissione, sull'immissione, sul ricettore). 3. Gli standard di qualità dell'ambiente. 4. Il criterio della migliore tecnologia disponibile. 5. I fattori di emissione. 6. Gli indici di qualità dell'ambiente. 7. Analisi costi-benefici.
  - 2.7. *Cenni sulla tutela giuridica dell'ambiente dall'inquinamento* - 1. Le norme di carattere generale. 2. La normativa sanitaria. 3. Le normative contro l'inquinamento ambientale. 4. Le nor-



mative per l'igiene e la sicurezza del lavoro. 5. Le normative sulle industrie a rischio d'incidenti rilevanti 6. La procedura di valutazione dell'impatto ambientale. 7. Le direttive CEE. 8. Aspetti delle normative straniere.

### 3. Elementi di analisi di processo

- 3.1. *Cenni di teoria dei sistemi* - 1. Definizioni e classificazione. 2. Stato, controllabilità, osservabilità e stabilità. 3. Algebra degli schemi a blocchi. 4. Collegamenti elementari dei sottosistemi.
- 3.2. *Le relazioni di base* - 0. Generalità. 1. Equazioni integrali di bilancio. 2. Stadi di equilibrio. 3. Equazioni cinetiche. 4. Modelli fluidodinamici semplici. 5. Equazioni di bilancio locale di un mezzo continuo. 6. Equazioni costitutive.
- 3.3. *Applicazioni* - 1. Operazioni unitarie dell'ingegneria chimica ambientale. 2. Ingegneria delle reazioni chimiche ambientali. 3. Dispersione degli inquinanti nell'ambiente.

### Testi consigliati:

Sono messi a disposizione degli studenti gli appunti delle lezioni dove, per ogni argomento, è riportata la bibliografia essenziale.

1. FORABOSCHI F.P., *Principi di Ingegneria Chimica*, UTET, Torino, 1973.
2. SCHNOOR J.L., *Environmental Modeling*, Wiley-Interscience, New York, 1996.
3. MACKAY D., *Multimedia Environmental Models*, Lewis, Chelsea, 1991.
4. MARSILI-LIBELLI S., *Modelli matematici per l'ecologia*, Pitagora, Bologna, 1989.
5. EL-HALWAGI M.M., *Pollution Prevention through Process Integration*, Academic Press, San Diego, 1997.
6. CONNELL D.W., *Environmental Chemistry*, Lewis, Boca Raton, 1997.

*Esame*: consiste in una prova orale e comporta l'uso di un *personal computer* per la soluzione degli esercizi.

## PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA I

BO, cds: Q

Docente: Francesco Santarelli prof. ord.

L'Insegnamento ha per oggetto lo studio dei modelli fisici e matematici sui quali si fondano progettazione funzionale e simulazione degli impianti dell'industria di processo ed è indirizzato verso la conoscenza operativa dei modelli stessi.

### 1. Introduzione

- 1.1. Sistemi: concetti generali, definizioni ed esempi; classificazione; stato; controllabilità e osservabilità; algebra degli schemi a blocchi; grafi di flusso di segnale e matrici di Boole; collegamenti elementari di sottosistemi (cascata, parallelo, retroazione).
- 1.2. Metodologie (richiami, integrazioni, applicazioni esemplificative): calcolo matriciale e tensoriale; funzioni speciali; equazioni differenziali; equazioni alle differenze finite; metodi numerici; similitudine e analisi dimensionale.
- 1.3. Modelli matematici dei sistemi: modelli lineari con una variabile indipendente; modelli lineari con più variabili indipendenti; modelli non lineari.

### 2. Apparati e stadi

- 2.1. Bilanci di materia e di entalpia per processi stazionari; numero di variabili indipendenti e

- specifica base; curve di lavoro; metodi di soluzione; applicazioni.
- 2.2. Modello di stadio d'equilibrio: definizione, ipotesi, esempi; variabili, equazioni e gradi di libertà; specifiche di verifica e di esercizio; metodi di calcolo delle variabili dipendenti, reazioni chimiche; partitori di corrente; applicazioni.
  - 2.3. Sistema di stadi d'equilibrio: definizione, ipotesi, esempio; variabili, equazioni e gradi di libertà; specifiche di verifica e di esercizio; metodi di calcolo delle variabili dipendenti, reazioni chimiche; partitori di corrente; applicazioni.
  - 2.4. Stadi reali: cause di deviazione dall'idealità; rendimento di Murphree senza e con trascinamento; relazione di Colburn; rendimento globale; diagrammi di equilibrio pratico; applicazioni.
3. *Modelli fluidodinamici semplici*
- 3.1. Fase perfettamente miscelata: definizione, proprietà, esempi; distribuzione dei tempi di permanenza; bilanci di materia ed energia; applicazioni.
  - 3.2. Corrente monodimensionale (senza diffusione assiale): definizione, proprietà, esempi; distribuzione dei tempi di permanenza; bilanci di materia quantità di moto ed energia (termica e meccanica); grandezze di miscela; applicazioni.
4. *Modelli tipo legge di Ohm per il trasporto interfacciale*
- 4.1. Considerazioni generali: interfacce tra fasi; densità di flusso interfacciale; coefficiente di trasporto interfacciale e forze motrici.
  - 4.2. Trasporto di quantità di moto: ipotesi di aderenza; fattore d'attrito; fattore d'attrito modificato per il modo in un letto filtrante; coefficienti di trascinamento e di sollevamento; applicazioni.
  - 4.3. Trasporto di calore: ipotesi di equilibrio termico interfacciale; coefficienti di convezione; coefficiente globale di scambio termico; applicazioni.
  - 4.4. Trasporto di materia: ipotesi di equilibrio interfacciale; coefficiente di trasporto; coefficiente globale di trasporto di materia.
5. *Modello di mezzo continuo (a più componenti)*
- 5.1. Introduzione: definizioni; ipotesi generali; equazione di bilancio locale di una proprietà estensiva; equazione di bilancio di una proprietà estensiva in corrispondenza di una superficie di discontinuità (teorema di Kotchine generalizzato).
  - 5.2. Equazioni di bilancio locale di materia, di quantità di moto e di energia (termica e meccanica).
  - 5.3. Equazioni costitutive: per il tensore degli sforzi (fluidi ideali, fluidi newtoniani, cenni sui fluidi non-newtoniani e sui solidi elastici); per la densità di flusso di calore (legge di Fourier); per la densità di flusso di massa dei singoli componenti (legge di Fick, relazioni di Maxwell); elementi di termodinamica dei processi irreversibili; principi generali; diffusività di quantità di moto, di calore e di materia e loro rapporti.
  - 5.4. Introduzione delle equazioni costitutive nelle equazioni di bilancio: equazioni di Eulero, di Navier-Stokes, di Fourier (generalizzata) e di Fick (generalizzata); approssimazione di Boussinesq; condizioni ai limiti; similitudine.
6. *Modelli matematici dei processi di trasporto*
- 6.1. Trasporto molecolare: richiami sul moto laminare; richiami sulla conduzione termica; diffusione stazionaria (controdiffusione equimolare, diffusione in film stagnante, caso generale); diffusione non stazionaria; diffusione in mezzi reagenti chimicamente; fattore di efficienza di un catalizzatore; diffusione contemporanea di calore e materia.

- 6.2. Trasporto turbolento: considerazioni generali sulla turbolenza; introduzione delle grandezze medie locali nelle equazioni di Navier-Stokes, di Fourier e di Fick generalizzate; flussi turbolenti di quantità di moto, calore e materia; diffusività turbolente; cenni sulla teoria fenomenologica della turbolenza.
  - 6.3. Processi di trasporto in fluidi in moto in mezzi filtranti: legge di Darcy; applicazione dei modelli di corrente monodimensionale con diffusione assiale e di cascata di mescolatori perfetti; diffusività equivalente; numeri di Bodenstein e di Péclet diffusivo.
  - 6.4. Coefficienti di trasporto interfacciale: calcolo delle distribuzioni di velocità, temperatura e concentrazione risultanti dall'integrazione delle equazioni di Navier-Stokes, Fourier e Fick (moti laminari, strato limite, approssimazione di Lévêque, modello di Lewis e Whitman, teoria di Nusselt); analogie fra trasporto di calore, materia e quantità di moto (di Reynolds, Prandtl, Lewis e Whitman, Chilton e Colburn); teoria della penetrazione (modelli di Higbie e di Dankwerts); analisi dimensionale e relazioni sperimentali; applicazioni.
7. *Apparati a contatto continuo*
    - 7.1. Scambio termico tra correnti fluide (perfettamente miscelate e monodimensionali): potenza termica scambiata, differenza di temperatura media logaritmica; unità di trasporto; fattore correttivo per contatti diversi dalla controcorrente e dall'equicorrente; applicazioni.
    - 7.2. Scambio di materia tra correnti fluide (perfettamente miscelate e monodimensionali): flusso dei componenti chimici scambiati; curve di lavoro e di equilibrio; unità di trasporto; applicazioni.

*Principali testi di riferimento:*

- FORABOSCHI F.P., *Principi di ingegneria chimica*, UTET, Torino, 1973.
- BIRD R.B., STEWARD W.E., LIGHTFOOT E.N., *Fenomeni di trasporto*, C.E.A., Milano, 1970.
- BRODKEY R.S., HERSHEY H.C., *Transport Phenomena - A Unified Approach*, McGraw-Hill, New York, 1988.
- HELEY E.J., SEADER, J.R., *Equilibrium Stage Separation Operations in Chelucak Engineering*, J. Wiley & Sons, New York, 1981.
- DENN M.N., *Process Fluid Mechanics*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1980.
- MARRO G., *Fondamenti di teoria dei sistemi*, Pàtron, Bologna, 1979.
- PERRY R., *Chemical Engineers' Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1986.
- ROSS G., *Computer programming examples for chemical engineers*, Elsevier, Amsterdam, 1987.
- The transport phenomena problem solver*, REA, New York, 1986.

L'esame consiste in una prova scritta e orale.

**PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II**

**BO, cds: Q**

Docente: **Ferruccio Droghieri** prof. straord.

1. Analisi dimensionale (dimensioni fondamentali e sistemi di unità di misura, teorema di Buckingham, similitudine dinamica)
2. Statica dei fluidi (distribuzione di pressione in liquidi e gas in quiete, spinta di galleggiamento, condizioni di stabilità)
3. Bilanci di materia e quantità di moto (bilanci integrali di massa, quantità di moto e momento della quantità di moto, equazione di continuità e bilancio locale di quantità di moto)

4. Equazioni costitutive per lo sforzo in fluidi viscosi (fluido ideale, fluido newtoniano, fluido viscoso non newtoniano, fluido di Bingham)
5. Moto di fluidi incompressibili in condotti a pressione (bilancio di energia meccanica, perdite di carico, reti di condotte, problemi di verifica e di progetto)
6. Flusso esterno (coefficienti di trascinamento, velocità terminale di caduta di particelle)
7. Moto di fluidi compressibili (moto adiabatico e isoterma in condotti a sezione costante, efflusso da ugelli)
8. Pompe e compressori (movimentazione dei fluidi con pompe centrifughe e compressori, scelta della pompa)
9. Moto in canali (moto uniforme e gradualmente variato, velocità critica, problema di progetto)
10. Colpo d'ariete (calcolo della sovrappressione, sistemi di protezione)
11. Soluzioni per campi di velocità in moto laminare (teoria della penetrazione, trattazione elementare dello strato limite)
12. Flusso bifase (flusso gas-liquido, flusso in mezzi porosi, fluidizzazione)
13. Misure e controllo (cenni di statistica, misure di portata, controllo di portata)
14. Analogie coi fenomeni di trasporto di calore e materia (trasporto molecolare e convettivo, coefficienti di trasporto)

*Prova d'esame:* orale

*Testo di riferimento:*

J. F. DOUGLAS, J. M. GASIOREK, J. A. SWAFFIELD, *Fluid Mechanics*, 4/E, Prentice Hall, 2001.

*Ulteriori letture suggerite:*

R. DARBY, *Chemical Engineering Fluid Mechanics*, 2/E, Marcel Dekker, 2001.

## **PRINCIPI E METODOLOGIE DELLA PROGETTAZIONE MECCANICA**

**FO, cds: cIm**

Docente: **Dario Croccolo** prof. ass.

### **Parte prima: aspetti generali**

Introduzione alla progettazione meccanica: tipologia, impostazione, sviluppo e gestione del progetto.

Le fasi e lo sviluppo funzionale del progetto.

La progettazione simultanea: tempi, costi e qualità della progettazione e dei prodotti.

L'analisi dei requisiti, delle specifiche e degli obiettivi del progetto: QFD (Quality Function Deployment).

L'analisi di affidabilità e dei guasti: FMEA (Failure, Mode, Effects, Analysis)

Principi di progettazione metodica:

La chiarificazione del compito e la stesura della specifica.

Il progetto concettuale.

Il progetto di dettaglio.

L'industrializzazione e la fabbricazione del prodotto.

- Il progetto per la fabbricazione: DFM (Design For Manufacture).  
 Il progetto per il montaggio e l'assemblaggio: DFA (Design For Assembly).  
 Le verifiche sperimentali del progetto e dei componenti: DOE (Design Of Experiment).

### Parte seconda: progetto e calcolo dei componenti delle macchine

Teoria membranale. Calcolo dei recipienti in pressione di piccolo spessore.

Teoria dei tubi di forte spessore. Calcolo dei recipienti in pressione di forte spessore. Calcolo degli accoppiamenti albero-mozzo per interferenza.

Accoppiamenti albero-mozzo.

Vibrazioni flessionali e torsionali e velocità critiche degli alberi.

Elementi elastici.

Sono previste le seguenti esercitazioni che saranno oggetto di discussione durante la prova d'esame:

- Progetti svolti da gruppi di studenti su temi concordati;
- Esercitazioni sul dimensionamento di organi di macchine e di recipienti in pressione;

#### Testo adottato

Dispense del corso "Principi e metodologie della progettazione meccanica" redatte dal Prof. Alessandro Freddi.

Appunti delle lezioni

#### Testi di consultazione

PAHL G. e BEITZ W., *Engineering Design*, Springer Verlag, 1988.

ULLMAN G.D., *The Mechanical Design Process*, Mc Graw-Hill, 1992.

ULRICH KARL T., EPPINGER D., *Progettazione e sviluppo di prodotto*, Mc Graw-Hill, 2000.

R. GIOVANNOZZI, *Costruzione di macchine*, vol. I e II, Patron, Bologna.

NIEMANN/WINTER, *Elementi di macchine*, vol. I, II, III, EST Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.

R.C. JUVINALL, K.M. MRSHEK, *Fondamenti della progettazione dei Componenti delle Macchine*, Ed. ETS, Pisa, 2002.

DAL RE V., *Costruzioni di apparecchiature chimiche: lezioni ed esercitazioni*, vol. 1 e 2, Progetto Leonardo, Bologna, 1992.

CESARI F., *Metodi di calcolo nella dinamica delle strutture*, Pitagora Editrice, Bologna, 1993.

GEVIRTZ C., *Developing new products with TQM*, McGraw-Hill, 1994.

### PRINCIPI E METODOLOGIE DELLA PROGETTAZIONE MECCANICA

BO, cds: M, N

Docenti: **Alessandro Freddi** prof. ord.

**Giorgio Bartolozzi** prof. ord.

L'Insegnamento si propone lo studio della impostazione, sviluppo e gestione del progetto concettuale delle macchine nei suoi aspetti funzionale, produttivo, economico.

A questo fine l'insegnamento è articolato nel modo seguente:

### 1. Elementi di progettazione simultanea:

La qualità del prodotto e del processo. L'analisi di affidabilità. L'analisi dei guasti. Concetto di manutenibilità.

### 2. Principi di progettazione metodica:

La chiarificazione del compito e la stesura della specifica. Il progetto concettuale. Industrializzazione del progetto.

### 3. La meccanica sperimentale nella progettazione:

La progettazione dell'esperimento.

### 4. Progetto e calcolo di componenti speciali:

Recipienti a pressione. Vibrazioni flessionali e torsionali degli alberi. Alberi a gomito di motori alternativi.

L'Insegnamento, previsto per gli allievi meccanici e nucleari (per questi ultimi con opportune riduzioni di programma), è integrato con i corsi di Costruzione di macchine, Costruzione di macchine e robot e di Costruzioni e progetti nucleari.

Tuttavia le metodologie per affrontare la progettazione concettuale e i concetti di *qualità* sono contenuti di validità generale per la formazione dell'ingegnere, particolarmente se egli dovrà occuparsi professionalmente della progettazione e della gestione di *sistemi*, il ciclo di vita dei quali, oltre alla fase di progettazione, è caratterizzato da fasi di esercizio e di manutenzione che richiedano elevati livelli di affidabilità e di sicurezza. Sia per gli allievi meccanici come per quelli nucleari sono previste esercitazioni articolate nel modo seguente, differenziate per i due soggetti:

– Progetti svolti da gruppi di studenti su temi concordati, in collaborazione con enti e industrie:

- Disegno a mano libera di complessivi semplici;
- Esercitazioni sul dimensionamento di recipienti a pressione;
- Esercitazioni sulle vibrazioni degli alberi;
- Esercitazioni sull'analisi del guasto.

### Libri consigliati:

Dispense dell'insegnamento.

PAHL G. e BEITZ W., *Engineering Design*, Springer Verlag, 1988.

ULLMAN G.D., *The Mechanical Design Process*, Mc Graw-Hill, 1992.

DAL RE V., *Costruzioni di apparecchiature chimiche: lezioni ed esercitazioni*, vol. 1 e 2, Progetto Leonardo, Bologna, 1992.

CESARI F., *Metodi di calcolo nella dinamica delle strutture*, Pitagora editrice, Bologna, 1993.

GEVIRTZ C., *Developing new Products with TQM*, McGraw-Hill, 1994.

GIOVANNONZI R., *Costruzione di macchine*, vol. II, Patron Editore, rist. 1990.

## PROCESSI BIOTECNOLOGICI AMBIENTALI

BO, cds: R

Docente: Carlo Gostoli prof. straord.

Elementi di microbiologia (cellule eucariote e procariote, virus, classificazione dei microrganismi). Elementi di biochimica (polisaccaridi, lipidi, proteine, acidi nucleici). Cinetica chimica ed enzimatica. Metabolismo ed energetica delle cellule. Mutazioni, Ingegneria genetica. Crescita

microbica, rese di crescita, bilanci di massa, colture continue. Popolazioni miste (competizione, predazione ecc.). Trasporto di materia in sistemi biologici. Bioreattori (agitati, air-lift, a biomassa immobilizzata). Sterilizzazione da terreni. Processi di fermentazione (produzione di biomasse e di metaboliti). Tecniche di separazione a membrana.

## **PRODUZIONE E TRASPORTO DEGLI IDROCARBURI**

**BO, cds: R**

Docente: **Guido Gottardi** prof. straord.

L'Insegnamento introduce allo studio di quel comparto dell'attività petrolifera che intercorre dallo sviluppo del campo di idrocarburi alla utilizzazione del prodotto. Vi sono in particolare delineati i principi della produzione e la loro applicazione ai fini della massima efficienza del giacimento; vengono illustrate le tecniche produttive e trattate i principali aspetti del trasporto in condotta.

### *Programma*

Aspetti tecnici ed economici della produzione degli idrocarburi. Il completamento dd pozzi: completamento a foro scoperto ed a foro rivestito, prevenzione dell'ingresso delle sabbie, tubing, packer ed altre attrezzature. Completamenti singoli e multipli. La produzione dei fluidi di strato: pozzi ed erogazione spontanea, pompe ad astine, pompe oleodinamiche, pompe a getto e centrifughe gas-lift. Calcolo delle curve di risalita lungo il tubing per moto polifasico secondo varie teorie. Teoria di funzionamento della valvola di erogazione di testa pozzo (duse). La manutenzione del pozzo: operazione di stimolazione per acidificazione e fratturazione, dissabbiamento, cementazione secondaria, ecc. Trattamento in campo del gas: caratteristiche del gas naturale, gli idrati e la loro prevenzione, impianti di disidratazione, cenni sulla desolfurazione e sul degasolnaggio. Trattamento in campo dell'olio: caratteristiche dei greggi, impianti di stabilizzazione, emulsioni e loro trattamento, cenni sulla desalificazione. Impianto di iniezione per il recupero secondario. La produzione in mare. Il trasporto degli idrocarburi, aspetti tecnici ed economici. Il moto dell'olio e del gas nelle condotte: reologia dei greggi.

Il trasporto dei greggi molto viscosi. Il moto polifasico nelle condotte. Le condotte: calcolo statico, la corrosione, la protezione catodica, il rivestimento, gli inibitori. Stazioni di compressione: pompe e compressori, dispositivi di misura, controllo e regolazione. Principi di progettazione: rete di collegamento dei pozzi. Oleodotti e metanodotti propriamente detti, scelta del tracciato, dimensionamento in base a criteri economici. Organizzazione dei lavori. Messa in opera delle condotte, organizzazione del cantiere. Attraversamento dei punti speciali. Il collaudo. Problemi di gestione. Cenni sullo staccaggio sotterraneo e sulla liquefazione del gas naturale.

Modelli per lo studio del comportamento dinamico dei giacimenti di idrocarburi: modelli monofasici, bifasici, trifasici e composizionali. Discretizzazione alle differenze finite delle equazioni dei modelli. Tecniche risolutive dei modelli discretizzati: IMPES (implicit pressure explicit saturations), SS (simultaneous solution), SEQ (sequential solution). Metodi diretti ed interattivi per la risoluzione dei sistemi di equazioni algebriche derivanti dalla discretizzazione dei modelli.

Elementi di politica degli investimenti con riferimento alla ottimizzazione dello sviluppo dei giacimenti di idrocarburi.

### *Testi consigliati:*

Dispense approvate dal docente.

*Manuale di produzione del petrolio*, AGIP.

*Corso di produzione del petrolio* (in francese), Istituto francese del petrolio.

*Production and Transport of Oil and Gas*, A.P. SZILAS revised edition vol. 1-2, Elsevier-New-York 1985.

*Esame orale*, con richiami alle applicazioni pratiche svolte nelle esercitazioni.

*Propedeuticità consigliata*: Meccanica dei giacimenti di idrocarburi.

*Tesi di laurea*: 1) Progetti relativi ad impianti produttivi; 2) Temi compilativi e di ricerca; 3) Progetti relativi a modelli numerici di giacimenti di idrocarburi.

## **PRODUZIONE E TRASPORTO DEGLI IDROCARBURI**

**BO, cds: duamb**

Docente: **Ezio Mesini** prof. ass.

### *Parte prima*

Il completamento dei pozzi: completamento a foro scoperto ed a foro rivestito, prevenzione dell'ingresso delle sabbie, tubing, packer ed altre attrezzature. Completamenti singoli e multipli. La produzione dei fluidi di strato: pozzi ed erogazione spontanea, pompe ad astine, gas-lift, cenni su altri tipi di pompe. La manutenzione del pozzo: operazione di stimolazione per acidificazione e fratturazione, dissabbiamento, cementazione secondaria, ecc. Trattamenti in campo del gas: caratteristiche del gas naturale, gli idrati e la loro prevenzione; impianti di disidratazione, cenni sulla desolfurazione e sul degasolinaggio. Trattamento in campo dell'olio: caratteristiche dei greggi, impianti di stabilizzazione, emulsioni e loro trattamento, cenni sulla desalificazione. La produzione in mare. Il trasporto degli idrocarburi, aspetti tecnici ed economici. Il moto dell'olio e del gas nelle condotte: reologia dei greggi.

Il trasporto dei greggi molto viscosi. Il moto polifasico nelle condotte. Le condotte: calcolo statico, la corrosione, la protezione catodica, il rivestimento, gli inibitori. Stazioni di compressione: pompe e compressori, dispositivi di misura, controllo e regolazione. Principi di progettazione: rete di collegamento dei pozzi. Oleodotti e metanodotti propriamente detti, scelta del tracciato, dimensionamento in base a criteri economici. Organizzazione dei lavori. Messa in opera delle condotte, organizzazione del cantiere. Attraversamento dei punti speciali. Il collaudo. Problemi di gestione. Cenni sullo stoccaggio sotterraneo e sulla liquefazione del gas naturale.

### *Parte seconda*

Richiami sulle tecniche di previsione del comportamento dei giacimenti di idrocarburi. Situazione attuale dell'ingegneria dei giacimenti. "Formation Evaluation": obiettivi e metodologie impiegate.

Carotaggi meccanici di fondo e di parete. Fattori che influenzano la qualità delle carote. Analisi petrofisiche su carote: analisi standard (porosità, permeabilità, saturazione in acqua residua, Grain Density, fattore di resistività della formazione) e analisi speciali (pressione capillare, permeabilità relative, bagnabilità).

Surface Logging: cenni sulle tecniche attuali tecniche di misura e di analisi dei fluidi, dei gas e dei detriti durante la fase di perforazione. Loro utilizzo nel processo di Formation Evaluation.

Log geofisici di pozzo: generalità sulle tecniche impiegate per la valutazione degli idrocarburi in posto, log wireline e while drilling, cenni sui log di produzione e sul monitoraggio del giacimento in fase di produzione. Parametri petrofisici e loro relazioni con i parametri fisici della



formazione. Log litologici, di resistività (macro e micro) induttivi e galvanici. Log di porosità acustici e nucleari.

Comportamento volumetrico e di fase dei sistemi di idrocarburi naturali ad alta pressione. Diagrammi di fase dei greggi, dei gas e condensati, dei gas secchi, a condizioni di giacimento e nei separatori di superficie. Studio dei fluidi in giacimento e negli impianti di trattamento di superficie mediante apparecchiature PVT.

#### Testi consigliati

MACINI P., MESINI E., *Alla ricerca dell'energia. Metodi di indagine per la valutazione delle georisorse fluide*, Clueb, Bologna, 1998.

HELANDER D.P., *Fundamentals of Formation Evaluation*, OGCI Publications, 1983.

DRESSER ATLAS, *Well logging and interpretation techniques*, Dresser Atlas Industries, 1982.

SCHLUMBERGER, *Log Interpretation Principles/Applications*, Houston, 1989.

CHIERICI G.L., *Comportamento volumetrico e di fase degli idrocarburi nei giacimenti*, Giuffrè Editore, Milano, 1962.

CHILINGAR G.V., ROBERTSON J.O., KUMAR S. (Eds.), *Surface operations in petroleum production I and II*, Elsevier, Amsterdam 1989.

#### PROGETTAZIONE INTEGRALE L

CE, cds: dud

Docente: Angelo Mingozi prof. inc.

#### L'ecosostenibilità come principio guida della progettazione integrale:

L'ambiente antropizzato contemporaneo viene troppo spesso realizzato alterando i cicli delle risorse naturali e causando squilibri ambientali che rendono sempre più fragili le interazioni con i sistemi ambientali. La produzione edilizia è, a diversi livelli, largamente partecipe di questa condizione di squilibrio, a partire dalla materia prima, che costituisce i materiali da costruzione, passando attraverso le scelte progettuali, alla gestione, fino alla demolizione del manufatto edilizio ed al suo smaltimento.

Data la condizione attuale, è necessaria una inversione di tendenza e la definizione di nuovi modelli di programmazione e di progettazione che, a partire da una visione integrale dell'architettura, propongano un'innovazione dei rapporti con l'ambiente, sfruttandone le potenzialità intrinseche senza peggiorarne la qualità. In particolare, la gestione delle risorse ambientali richiede un approccio progettuale di tipo complessivo, finalizzato alla "chiusura" dei cicli dell'energia, dell'acqua, dell'aria e della materia.

Gli operatori del processo edilizio, ed in particolare il gruppo di progettazione, devono essere in grado di prevedere e considerare le dinamiche e i coinvolgimenti che le loro scelte, determineranno nel tempo, sugli abitanti e sull'intorno prossimo e lontano degli interventi, ad ogni scala, da quella territoriale a quella architettonica. Tale responsabilità, nei confronti della nostra e delle future generazioni, richiede una nuova concezione di architettura, che deve necessariamente prevedere e prendere consapevolezza degli oneri sociali ed ambientali estesi al di là del solo momento di utilizzo del manufatto edilizio.

Il progetto ecosostenibile richiede quindi un approccio che riconosca la complessità del processo di progettazione stessa e sappia governarla, allo scopo di raggiungere i due obiettivi generali complementari che lo caratterizzano: la *salvaguardia dell'ambiente* e l'*uso razionale delle risorse e delle potenzialità offerte dal sito*, in relazione agli obiettivi di benessere e di risparmio energetico e della valorizzazione delle risorse ambientali.

Volendo descrivere gli elementi costitutivi e caratteristici della progettazione integrale ed

ecosostenibile devono essere citati brevemente:

- l'esigenza di intervenire in modo coordinato e coerente nelle *diverse scale progettuali, basandosi su un definito metodo di progettazione;*
- *l'interdisciplinarietà e la messa a sistema degli aspetti ambientali, sociali, ed economici,* ovvero la necessità di coinvolgere e coordinare in tutte le fasi del processo edilizio ed alle diverse scale progettuali specialisti di diversi settori coinvolti nel progetto ecosostenibile, con obiettivi ed un linguaggio comuni;
- l'attività di *verifica delle scelte progettuali,* alle diverse scale, lungo il processo edilizio e considerando l'intero ciclo di vita dell'organismo edilizio, in relazione agli obiettivi generali e specifici del progetto ecosostenibile.

Il *metodo progettuale* proposto serve a fornire *basi comuni di dialogo* ai diversi operatori nelle diverse fasi del processo edilizio e permette al progettista architettonico di governare tale complessità,

### **Gli ambiti didattici:**

Il corso si prefigge lo scopo di fornire metodi di analisi e strumenti operativi per la gestione e la regia delle fasi del processo edilizio, con particolare riferimento alle tematiche legate all'ecosostenibilità, intesa come la chiave di lettura della progettazione integrale.

#### **• Il processo decisionale: dall'analisi del sito alla definizione degli obiettivi di progetto**

Il quadro normativo di riferimento alle diverse scale edilizie.

La lettura analitica dei *fattori ambientali e dei fattori climatici* e la definizione degli obiettivi progettuali, attraverso la *scomposizione in parti del problema*, che non riguarda solo gli aspetti architettonici, strutturali ed impiantistici, ma il ciclo della materia, gli aspetti energetici, la qualità dell'aria, il ciclo ed uso dell'acqua, ecc...; e la successiva *ricomposizione e messa a sistema* delle singole parti, in una visione integrale.

Analisi del clima igrotermico e precipitazioni, della disponibilità di fonti energetiche rinnovabili, della disponibilità di luce naturale, del clima acustico, dei campi elettromagnetici.

L'obiettivo della salvaguardia dell'ambiente nella fase di produzione fuori opera, in sito e durante la vita del complesso insediativo ed edilizio. L'obiettivo di uso razionale delle risorse per il risparmio energetico e per la realizzazione di condizioni di benessere, igiene e salute degli utenti.

#### **• Uso razionale delle risorse e salvaguardia ambientale nel processo costruttivo e gestionale**

*La risorsa energetica:* il sistema edificio-impianto in relazione al controllo energetico, i sistemi solari passivi e attivi, le strategie per la ventilazione naturale e il raffrescamento passivo, l'illuminazione naturale.

*La risorsa idrica:* cenni sul ciclo dell'acqua e sul bilancio idrico, la fitodepurazione, etc. *La materia:* le procedure di analisi del ciclo di vita (Life Cycle Assessment), la gestione dei rifiuti.

#### **• Le politiche ambientali in edilizia per lo sviluppo sostenibile**

Le valutazioni di impatto ambientale, l'utilizzo di incentivi di carattere finanziario, l'audit energetico, l'adesione al sistema di ecolabel, integrazione tra i sistemi ambiente, sicurezza e qualità, i regolamenti EMAS e norme della serie ISO 14000.

### **Esercitazioni:**

Le esercitazioni, consistono nell'applicazione pratica delle metodologie e delle strumentazioni trattate nell'ambito delle lezioni, con particolare riferimento alle tecniche di controllo ambientale nella fase di progetto, di rilievo e di collaudo, anche con l'utilizzo di strumenti informatici e strumenti di misura.

**Supporti alla didattica:**

Durante il corso saranno forniti agli allievi, dispense, riferimenti bibliografici e normativi per l'approfondimento delle specifiche tematiche trattate. Saranno inoltre organizzati seminari di approfondimento di temi specifici, con il coinvolgimento di specialisti provenienti dal mondo accademico e dell'impresa.

**PROGETTAZIONE DI MATERIALI NON CONVENZIONALI**

FO, cds: clm

Docente: **Francesco Cesari** prof. ass.

L'insegnamento si propone di analizzare i materiali non convenzionali da diversi punti di vista: la struttura interna e le caratteristiche meccaniche, i processi tecnologici e soprattutto la progettazione del materiale.

A questo scopo il corso è articolato come segue.

**Parte 1: I materiali convenzionali.**

- 1.1 I metalli
- 1.2 I polimeri
- 1.3 I ceramici.

**Parte 2: I materiali non convenzionali (compositi).**

- 2.1 Classificazione dei materiali compositi.
- 2.2 I materiali compositi a lamina: i sandwich e i laminati.
- 2.3 Analisi micromeccanica di una lamina: i criteri per la determinazione dei parametri elastici.
- 2.4 Vari tipi di materiale composito: PMC, MMC, CMC, RCC.
- 2.5 La scelta dei materiali in base all'indice di prestazione.

**Parte 3: La progettazione del laminato.**

- 3.1 Equazione costitutiva di un materiale ortotropo.
- 3.2 Analisi di una lamina: la matrice di rigidità e di flessibilità, l'effetto termico e igroscopico, i criteri di rottura.
- 3.3 Analisi macromeccanica di una lamina: equazione costitutiva con simmetria e antisimmetria.
- 3.4 Progettazione automatica di un componente in materiale composito.

L'insegnamento previsto per gli allievi è integrato coi corsi di Comportamento meccanico dei materiali e Costruzioni di macchine. Durante il corso saranno tenute esercitazioni pratiche sulla progettazione dei materiali compositi mediante calcolatore.

**Bibliografia**

- 1. Appunti del docente
- 2. W. SMITH, *Scienza e tecnologia dei materiali*, MacGraw-Hill.
- 3. W. CALLISTER, *Material Science and Engineering*, John Wiley.
- 4. DANIEL GAY, *Materiaux composites*, Hermes.
- 5. K. KAW, *Mechanics of composites materials*, CRC Press.
- 6. G. CALIGIANA, F. CESARI, *Materiali compositi*, Pitagora Ed.

## PROGETTI E COSTRUZIONI NUCLEARI

BO, cds: N

Docente: Francesco Cesari prof. ass.

L'Insegnamento si propone di fornire allo studente le conoscenze per la progettazione dei componenti meccanici di un impianto nucleare e convenzionale, mettendo in rilievo l'importanza di una corretta scelta dei materiali, di un appropriato utilizzo delle più avanzate tecniche progettuali in relazione alle necessità di affidabilità e sicurezza che i componenti presentano. Verranno anche trattate le tematiche della garanzia della qualità e della loro utilizzazione nelle fasi di progettazione, costruzione e manutenzione di un impianto. Gli studenti avranno inoltre la possibilità di utilizzare direttamente su calcolatore programmi di calcolo specifici per l'analisi strutturale e per le valutazioni di affidabilità di un componente.

### 1. *La meccanica dei materiali*

Comportamento dei materiali ferrosi e relative equazioni costitutive in presenza di tensioni elevate (comportamento non lineare elastico ed elastoplastico) e temperature elevate (scorrimento viscoso).

Comportamento dei materiali ferrosi in presenza di difetti e loro caratterizzazione nella meccanica della frattura fragile e duttile.

Materiali utilizzati nella costruzione dei componenti nucleari ed influenza delle condizioni operative sulle caratteristiche meccaniche dei materiali.

### 2. *La progettazione dei componenti nucleari*

I recipienti in pressione: materiali, normativa di riferimento, calcolo ed aspetti economici nella scelta della soluzione.

Analisi degli effetti sulle strutture di carichi rapidamente variabili (incidenti esplosivi, missili), carichi lentamente variabili (fenomeni sismici) e transitori termici. Determinazione delle equazioni di equilibrio dei vari fenomeni fisici e loro discretizzazione per una soluzione approssimata.

Comportamento non lineare delle strutture: problemi di non linearità dei materiali (materiali elastoplastici, *swelling*, scorrimento viscoso) e di non linearità geometrica (grandi spostamenti, grandi rotazioni).

### 3. *Dinamica e controllo dei reattori nucleari*

Comportamento dinamico del reattore nucleare e meccanismi di interazione che concorrono a determinarlo (cinetica neutronica, controeazioni di reattività dovute ai più importanti effetti fisici, sistema di controllo ...): implicazioni progettuali. Parametri cinetici della reazione di fissione a catena controllata. Analisi di transitori a reattività costante e variabile: manifestazione fisica e matematica della rigidità (stiffness) del sistema. Analisi di sistemi dinamici rigidi (stiff). La determinazione sperimentale della reattività. Leggi di controeazione di reattività. Studio lineare e non lineare del reattore come sistema dinamico. Dinamica delle grandi e delle piccole escursioni. Analisi di stabilità. Teoria e calcolo delle barre di controllo.

### 4. *L'utilizzo del calcolatore per l'analisi di una struttura*

La struttura di un codice di calcolo per l'analisi strutturale. L'impiego di personal computers e di programmi personalizzati per la soluzione di particolari problemi.

Calcolo automatico di un telaio, di strutture piane ed assialsimmetriche: problemi statici (materiale elastico ed elastoplastico con piccole deformazioni) e problemi dinamici (calcolo delle frequenze proprie di una struttura e della risposta ad un carico funzione del tempo).

L'analisi delle strutture spaziali di grosso e piccolo spessore e relativo calcolo automatico. Determinazione del carico critico di strutture snelle.

## Bibliografia

- J.F. HARVEY, *Theory and Design of Modern Pressure Vessels*, Ed. Van Nostrand, 1991.  
 F. CESARI, L. MENEGHINI, *Calcolo automatico di telai e strutture piane*, Ed. Pitagora, 1991.  
 F. CESARI, L. MENEGHINI, *Calcolo automatico di strutture spaziali*, Ed. Pitagora, 1992.  
 F. CESARI, L. MENEGHINI, *Calcolo automatico di strutture con comportamento non lineare*, Ed. Pitagora, 1993.  
 T. TROMBETTI, *Elementi di controllo del reattore nucleare*.  
 J.N. SIDDALL, *Probabilistic Engineering Design*, Ed. Dekker, 1983.  
 P. O'CONNOR, *Practical Reliability Engineering*, Ed. John Wiley, 1991.

## PROGETTO

FO, cds: cla

Docente: Alfredo Liverani prof. ass

### Finalità del laboratorio

Il laboratorio ha come obiettivo l'applicazione e l'addestramento degli allievi sulle tecniche di progettazione più avanzate nel campo aerospaziale e meccanico. Il laboratorio dunque si propone di impartire le cognizioni teorico-pratiche necessarie per l'integrazione delle tecniche di simulazione virtuale con le finalità della progettazione ottimizzata.

L'Insegnamento si compone di due fasi:

- fase pratica di esercitazione guidata presso il centro di calcolo per apprendere i rudimenti degli strumenti software utilizzati;
- fase di lavoro di gruppo, ove gli studenti, suddivisi in gruppi omogenei, dovranno sviluppare progetto.

### Programma

Progettazione in ambito ingegneristico, Modelli del processo di progettazione. Dispositivi di Input. Dispositivi di Output. Architettura degli elaboratori. Blocchi funzionali di un Personal Computer. I driver di dispositivo. La memoria di massa. Le periferiche di puntamento e di posizionamento. Il sistema video. Le periferiche. Cenni introduttivi sulle reti. Principi di Computer Graphics. Struttura dei sistemi CAD. Data Block. Data Model. Modellatori wire-frame. Modellatori per superfici. Modellatori solidi CSG e B-Rep. Curve e superfici di Bezier. Curve e superfici B-Spline. I menu e le interfacce. Trasformazioni geometriche ed operazioni di viewing. Trasformazioni geometriche 2D e 3D (traslazione, rotazione, trasformazioni di scala, composizione delle trasformazioni). Proiezioni ortogonali e prospettiche. Pipeline grafica. Trasformazioni Window-to-Viewport. Algoritmi di Clipping di linee e poligoni. Algoritmi di Scan Conversion e di anti-aliasing. Modelli solidi, curve e superfici. Schemi di rappresentazione dei solidi: occupazione spaziale, decomposizione in celle, CSG, rappresentazioni al contorno (B-rep). Equazioni implicite e parametriche. Forme algebriche e geometriche delle equazioni parametriche. Curve e superfici polinomiali e razionali (Hermite, Bezier, B-spline, NURBS). Superfici di rivoluzione, rigate, coniche. Photorealistic rendering. Modelli di colore. Modelli di illuminazione. Shading. Rimozione delle parti nascoste (z-buffer, depth-sort, scan-line, Warnock). Modellazione solida e per superfici. La grafica 2D e 3D. Modelli ad elementi finiti e modelli per la simulazione dinamica. Strumenti per l'animazione tecnica.

### Esame

La valutazione finale viene assegnata sulla base di una presentazione del progetto e una verifica di un elaborato sul progetto stesso ed eventuali prove pratiche sui software utilizzati.

## Bibliografia

C. McMAHON, J. BROWNE, *CAD/CAM: from principles to practice*, Addison-Wesley.  
 M.E. MORTENSON, *Modelli geometrici in computer graphics*, Mc Graw-Hill.  
 Manuali dei programmi consigliati.

## Esercitazioni

- Utilizzo di programmi CAD presso il Laboratorio di Informatica di Forlì
- Svolgimento di un progetto di gruppo

## Software consigliati:

- Microstation v5 o v95
- Solid Edge
- Rhino
- ThinkDesign
- Nastran for Windows
- Working Model

## PROGETTO DI CIRCUITI ANALOGICI LA

BO, cds: L

Docente: **Guido Masetti** prof. ord.

## Finalità del corso

Analisi e progetto dei blocchi circuitali analogici integrati fondamentali.

## Programma del Corso

Dispositivi elettronici integrati: generalità sui semiconduttori, modello matematico dei dispositivi, giunzione pn in equilibrio e fuori equilibrio, calcolo della relazione statica corrente-tensione, effetti reattivi in polarizzazione diretta ed inversa; il transistor MOS, calcolo delle caratteristiche statiche di corrente, effetti reattivi; modelli dei dispositivi, utilizzo di un simulatore di tipo SPICE.

Schemi di base di specchi di corrente ed amplificatori a singolo stadio: specchio di corrente elementare, stadi a source/drain/gate comune, specchi di corrente cascode e di Wilson, stadio amplificatore di tipo cascode, stadio differenziale; analisi in frequenza di alcuni stadi fondamentali.

Il rumore nei dispositivi e circuiti elettronici: analisi e modellistica, esempi di analisi di rumore.

Schemi di base di amplificatori operazionali e generalità sulla compensazione: analisi dell'opamp a due stadi, tecniche di compensazione, compensazione indipendente da variazioni del processo e dalla temperatura, esempi.

Schemi di specchi di corrente ed operazionali avanzati: specchi di corrente ad ampio "swing" ed alta resistenza d'uscita, opamp di tipo "folded-cascode", opamp completamente differenziali, circuiti di stabilizzazione della tensione di modo comune d'uscita, opamp con retroazione in corrente.

Comparatori: generalità e schemi di base.

## Testi consigliati:

D.A. JOHNS, K. MARTIN, *Analog integrated circuit design*, Ed. Wiley & Sons.

**PROGETTO DI CIRCUITI ANALOGICI LS**

BO, cds: L

Docente: Antonio Gnudi prof. ass.

**Finalità del corso**

Fornire le conoscenze per la progettazione e l'analisi dei fondamentali blocchi analogici, comprendenti considerazioni sul layout, amplificatori operazionali, comparatori, circuiti di sample and hold, filtri a condensatori commutati, convertitori A/D e D/A, filtri tempo continui.

**Programma del Corso**

*Layout dei circuiti analogici.* Problemi di match dei transistori MOS causati dalle derive spaziali dei parametri del processo di fabbricazione e tecniche di interdigitazione per contrastarne l'effetto.

*Amplificatori operazionali avanzati.* Schemi completamente differenziali, stabilizzazione della tensione di modo comune d'uscita, schemi con reazione in corrente.

*Moduli analogici di particolare interesse applicativo.* Comparatori e loro parametri caratteristici, tecniche di auto-zero, comparatori latch, circuiti di sample and hold, tecniche per la compensazione dell'iniezione di carica, riferimenti di tensione.

*Convertitori A/D e D/A.* Generalità e parametri caratteristici, convertitori a rampa, R-2R, convertitori ad approssimazioni successive, convertitori flash, convertitori a sovracampionamento, convertitori sigma-delta.

*Filtri a condensatori commutati.* Richiami sui segnali tempo-discreti e sulle trasformate z, integratori, influenza delle capacità parassite, filtri elementari a condensatori commutati, esempi applicativi.

*Filtri tempo-continui.* Filtri a transconduttanza e capacità, schemi di transduttori lineari, filtri MOSFET-C, compensazione della risposta del filtro al variare della temperatura e dei parametri di processo.

**Esercitazioni.**

Progetto di blocchi funzionali tramite strumenti CAD.

**Testi consigliati:**

D.A. JOHNS, K. MARTIN, *Analog integrated circuit design*, Wiley 1997.

**PROGETTO GENERALE DI AEROMOBILI**

FO, cds: cla

Docente: Gian Marco Saggiani prof. ass.

**Programma****Introduzione**

• Definizione delle metodologie di progetto: progetto concettuale, preliminare e in dettaglio

- Definizione delle specifiche di progetto: analisi di missione, analisi del mercato
- Valutazione preliminare della configurazione del velivolo: stima dei pesi, dimensionamento di massima e scelta del propulsore
- Panoramica su configurazioni standard e non convenzionali

### **Aerodinamica**

- Caratteristiche generali dei profili e delle varie geometrie alari
- Scelta dei profili
- Regime di volo subsonico: aerodinamica dell'ala e del velivolo completo
- Alettoni e ipersostentatori: dimensionamento e valutazione delle caratteristiche aerodinamiche
- Cenni al regime supersonico e transonico

### **Propulsione**

- Verifica sulla scelta del propulsore
- Motori alternativi ed eliche; motori a getto; turboelica e turbofan
- Valutazione delle curve di potenza disponibile

### **Prestazioni**

- Curve di potenza necessaria
- Stima delle velocità massima, minima, di salita (rapida e ripida) in funzione della quota
- Quota di tangenza teorica e pratica
- Inviluppo di volo
- Autonomia oraria e chilometrica

### **Principali manovre**

- Decollo
- Atterraggio
- Virata corretta

### **Stabilità**

- Valutazione della stabilità longitudinale: stima dei punti neutri a comandi bloccati e liberi in volo rettilineo uniforme e in manovra; diagramma del Crocco.
- Cenni di dinamica longitudinale
- Cenni di stabilità latero-direzionale

### **Testi di riferimento**

- I. H. ABBOT, A. E. VON DOENHOFF, *Theory of wing sections*, Dover Publications, New York (NY), 1958.
- J. P. FIELDING, *Introduction to aircraft design*, Cambridge University Press, Cambridge (UK), 1999.
- C. E. LAN, J. ROSKAM, *Airplane aerodynamics and performance*, Roskam Aviation and Engineering Corp., Ottawa (KS), 1980.
- R. PICARDI, *Esercitazioni*, CLUP Milano, 1977.
- D. P. RAYMER, *Aircraft Design: a conceptual approach*, AIAA Education Series, New York (NY), 1999.
- J. ROSKAM, *Airplane Design*, Part I-VIII - Roskam Aviation and Engineering Corp., Ottawa (KS), 1985.



E. TORENBECK, *Synthesis of subsonic airplane design*, Delft University Press, Delft (The Netherlands), 1982.

Normativa FAR (Federal Aviation Administration) e JAR (Joint Aviation Authorities) 'Jane's all the world aircraft' - Jane's (UK).

### Siti di riferimento

[www.aircraftdesign.com](http://www.aircraftdesign.com) (sito di D. P. Raymer)

[www.soton.ac.uk/~pbn/MDO/index.html](http://www.soton.ac.uk/~pbn/MDO/index.html): sito su Multidisciplinary Design Optimization (MDO)

<http://adg.stanford.edu/aa241/AircraftDesign.html>: 'Aircraft Design: synthesis and analysis', I. Kroo, R. Shevell (...è un testo online...)

[http://aeromaster.tamu.edu/haisler/aero405/aircraft\\_structural\\_design\\_links.html](http://aeromaster.tamu.edu/haisler/aero405/aircraft_structural_design_links.html): moltissimi links di carattere aeronautico.....

[www.faa.gov](http://www.faa.gov): sito della Federal Aviation Administration (normativa aeronautica americana FAR)

[www.jaa.nl](http://www.jaa.nl): sito della Joint Aviation Administration (normativa europea (JAR), a pagamento)

### Propedeuticità consigliate

Aerodinamica degli aeromobili, Fluidodinamica, Meccanica del volo, Propulsione aerospaziale

### Modalità svolgimento esame

L'esame prevede lo svolgimento di una tesina, consistente nella progettazione di massima di un velivolo di cui siano assegnate le specifiche, e un colloquio orale.

## PROPAGAZIONE LA

BO, cds:T

Docente: Paolo Bassi prof. straordinario.

### Finalità del corso:

Consentire la comprensione dei fenomeni alla base della propagazione libera e guidata delle onde elettromagnetiche e del loro impiego per la realizzazione di sistemi di telecomunicazioni.

### Programma del corso:

Postulati di definizione del campo elettromagnetico. Equazioni di Maxwell. Relazioni costitutive dei mezzi materiali.

Teoremi (Formulazioni nel dominio del tempo): Teorema di Poynting. Teorema di unicità. Polarizzazione.

Grandezze sinusoidali e vettori complessi rappresentativi.

Formulazione nel dominio delle frequenze delle equazioni di Maxwell. Teorema di Poynting. Teorema di unicità. Equazioni di Helmholtz. Discontinuità e correnti superficiali. Conduttore elettrico e magnetico perfetto. Principio di dualità Cavità risonanti. Teorema di equivalenza. Teorema di reciprocità.

Propagazione in mezzi omogenei. Grandezze caratteristiche. Soluzione dell'equazione di Helmholtz in termini di onde piane e loro classificazione. Onde TEM, TE e TM. Riflessione e rifrazione. Propagazione di fasci di onde piane. Approssimazione parabolica.

Introduzione all'ottica geometrica. Ellissoide di Fresnel.

Soluzioni delle equazioni di Maxwell tramite potenziali. Metodo della funzione di Green.

Espressioni generali del campo. Problemi di scattering.

Sorgenti elementari. Campo irradiato da un elemento di corrente. Campo vicino e campo a grande distanza. Momento equivalente.

Grandezze caratteristiche della radiazione: intensità di radiazione, funzione di radiazione, direzionalità e guadagno. Problema della ricezione. Area efficace. Formula di trasmissione. Cenni all'equazione del RADAR

Antenne composite e schiere.

#### Modalità di esame:

L'esame consiste in una prova scritta ed una prova orale.

È prevista una prova parziale scritta durante il corso (non obbligatoria).

**Propedeuticità consigliate:** Comunicazioni Elettriche L-A

#### Libri di testo consigliati:

VITTORIO RIZZOLI, *Lezioni di campi elettromagnetici*. Esculapio-Progetto Leonardo.

GIUSEPPE CONCIAURO, *Introduzione alle onde elettromagnetiche*. Mc Graw Hill.

Dispense prof. Vittorio Degli Esposti.

M. N. O. SADIKU, *Elements of Electromagnetics*, 3a ed., Oxford Univ. Press.

#### Testi di consultazione:

PAOLO BASSI, GAETANO BELLANCA, GIOVANNI TARTARINI, *Propagazione ottica libera e guidata*. CLUEB.

GIAN CARLO CORAZZA, *Campi elettromagnetici*, Zanichelli.

GIORGIO FRANCESCHETTI, *Campi Elettromagnetici*, Boringhieri.

## PROPRIETÀ TERMODINAMICHE E DI TRASPORTO

BO, cds: Q, L

Docente: Ferruccio Doghieri prof. straord.

Scopo dell'Insegnamento è quello di dare una visione unificante, nell'ambito della termodinamica dei mezzi continui, dei processi fisici e chimici elementari, caratteristici delle situazioni di normale interesse per l'ingegnere chimico. Partendo dalle equazioni di conservazione di validità generale per i mezzi continui (leggi), attraverso l'individuazione delle modalità di comportamento di classi di materiali (equazioni costitutive), lo studente è posto in condizione di scrivere le equazioni con cui costruire il modello matematico di un dato fenomeno. Parallelamente vengono fornite tecniche specifiche per il calcolo di proprietà fisico-chimiche di fluidi puri e di miscele di particolare interesse per l'ingegnere chimico. Particolare attenzione è riservata a quei modelli di struttura molecolare che permettono di ottenere, per le grandezze di interesse, dei valori di previsione accettabili per i calcoli tecnici. L'esame, per una vasta serie di casi dei modelli matematici introdotti eventualmente semplificati sulla base di considerazioni fisiche, fornisce poi strumenti per valutare una serie di situazioni d'interesse pratico.

Elementi di calcolo tensoriale.

Elementi di cinematica per mezzi continui a uno o più componenti.

Equazioni di bilancio locale di materia, quantità di moto, energia (totale, termica, meccanica) per mezzi continui a uno o più componenti.

Equazioni costitutive del tensore degli sforzi; equazione di Navier-Stokes; condizioni per la similitudine dinamica di moti in regioni geometricamente simili; soluzione esatta dell'equazione

di moto per fluidi, newtoniani e no, in situazioni di flusso unidirezionale; creeping flow; flusso potenziale; equazione di Bernouilli; strato limite laminare.

Equazioni costitutive per il vettore densità di flusso di calore; equazione di Fourier, condizioni per la similitudine dinamica e termica; conduzione di calore in regioni piane e cilindriche; scambio termico con fluidi in moto con proprietà fisiche costanti; convezione naturale termica; convezione mista.

Equazioni costitutive del vettore densità di flusso diffusivo di materia, equazione generalizzata di Fick, flusso di Stefan, condizioni per la similitudine delle distribuzioni di velocità temperatura e concentrazione in moti in regioni geometricamente simili, diffusione pura in regioni piane e cilindriche, soluzioni della equazione generalizzata in assenza e in presenza di reazioni chimiche; strato limite con trasporto simultaneo di quantità di moto, calore e materia; convezione naturale di materia.

Restrizioni per le equazioni costitutive; termodinamica razionale; termodinamica dei processi irreversibili.

Proprietà di trasporto in gas e liquidi. Teoria di Eyring. Viscosità di sostanze pure, di soluzioni e viscosità di sospensioni. Conducibilità termica di sostanze pure e di soluzioni. Trasporto diffusivo di materia: coefficienti di autodiffusione, coefficienti di diffusione in miscele binarie. Diffusione in miscele multicomponenti.

Turbolenza, fluttuazioni e grandezze mediate, teorie fenomenologiche della turbolenza (ipotesi di Boussinesq, teoria lunghezza di mescolanza), profili universali di velocità.

Equazioni integrali di bilancio di materia, quantità di moto, energia (totale, termica e meccanica) per una corrente fluida.

Trasporto interfacciale di quantità di moto, fattore d'attrito, coefficiente di forma e di trascinamento, relazioni per il calcolo del fattore d'attrito, calcolo di perdite di carico.

Trasporto interfacciale di calore, coefficiente di convezione termica, numero di Nusselt, analogie di Reynolds, di Prandtl, di Lewis-Whitman, e di Chilton e Colburn fra trasporto di calore e di quantità di moto.

Trasporto interfacciale di materia, coefficiente di trasporto di materia, numero di Sherwood, numero di Sherwood generalizzato; analogie fra trasporto di materia e di quantità di moto, modello del rinnovo superficiale per il calcolo dei coefficienti di trasporto. Applicazione a problemi di particolare interesse per l'industria chimica.

#### Testi consigliati:

F.P. FORABOSCHI, *Principi di ingegneria chimica*, UTET.

R.B. BIRD, W.E. STEWART, M.E. LIGHTFOOT, *Fenomeni di trasporto*, CEA, Milano, traduzione di, Wiley Int. Ed., N.Y., 1960.

S. WHITAKER, *Introduction to Fluid Mechanics*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1968.

R. REID, J.M. PRUSNITZ, T. SHERWOOD, *The Properties of Gases and Liquids*, McGraw Hill, 1977.

*Propedeuticità consigliata*: Principi di ingegneria chimica.

*L'esame* si articola in una prova scritta e in un colloquio.

**PROPULSIONE AEROSPAZIALE L**

FO, cds: dua, cla

Docenti: **Giorgio Minelli** prof. ord.**Roberto Bettocchi** prof. ord.

Principi generali della propulsione nell'atmosfera e nello spazio.

Peculiarità della propulsione con motore c.i.

Studio generale dei motori alternativi a c.i., con particolare riferimento agli specifici problemi dell'impiego in aeronautica. Le architetture, in relazione ai sistemi di raffreddamento ed al collegamento con la struttura dell'aeromobile. La riduzione delle prestazioni con la quota, ed il ristabilimento mediante sovralimentazione volumetrica e dinamica.

L'elica: espressione del tiro e del rendimento di propulsione. Eliche a passo variabile. Accoppiamento elica-motore.

Pulsogetti e stratogetti. I razzi a propellente solido.

Sistemi di propulsione spaziale con combustibile e comburenti in fase liquida, dai più semplici sistemi ai più sofisticati: il caso dello space-shuttle.

I gruppi turbogas nella propulsione aeronautica: differenze fra la loro propulsione ad elica ed a turbogetto.

Breve rassegna della storia della propulsione senza elica.

Sistemi propulsivi che utilizzano come motori primi i turbogas: turboelica, turbojet, turbofan, turboprop, propfan, ramjet.

Architetture dei turbogas per la propulsione: confronti, rapporti fra i vari flussi.

Prestazioni propulsori: spinte; rendimenti di propulsione, termodinamico del motore e totale; distanza percorribile, consumo specifico riferito alla spinta e alla potenza all'albero.

Le prestazioni dei turbogetti, in dipendenza dalla velocità dell'aeromobile e della quota.

Il turboelica e le motivazioni che portano al turbofan. Esame termodinamico ed architetture caratteristiche dei turbofan.

Le prestazioni dei turbogetti, in dipendenza dalla velocità dell'aeromobile e della quota.

Il turboelica e le motivazioni che portano al turbofan. Esame termodinamico ed architetture caratteristiche dei turbofan.

Trasformazioni, bilanci energetici nel turbogas.

Ciclo teorico e reale del turbogas, sua alterazione con la velocità di volo e con la postcombustione.

Influenza dei principali parametri funzionali sulle prestazioni del turbogas nell'applicazione al turbojet, al turbofan ed al turboelica.

**PROTEZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO**

BO, cds: R, C

Docente: **Armando Brath** prof. ord.**1. Cenni generali**

1.1. Elementi di climatologia, meteorologia ed idrologia

1.2. Definizione di unità ecologica

1.3. La degradazione dell'ambiente naturale: acqua, aria suolo.

**2. La degradazione dei terreni: azioni chimiche e fisiche; azione morfologica del calore solare, degli agenti atmosferici, della gravità, delle acque continentali, del mare.**

2.1. Acque superficiali:

2.1.1. Acque continentali:

- Azione della pioggia sui terreni; erosione, trasporto solido, sedimentazione.
- Opera di difesa e sistemazione idraulica: rimboscimento; interventi estensivi ed intensivi; regolazione dei corsi d'acqua; prevenzione delle alluvioni; serbatoi naturali ed artificiali a scopo multiplo; bonifiche; il problema delle foci e delle lagune.

#### 2.1.2. Acque marine:

- Azione chimica e fisica del mare sulle coste.
- Opere di difesa dei litorali.

#### 2.2. Acque sotterranee

- Principali proprietà idrologiche dei terreni; circolazione delle acque nel sottosuolo; sorgenti, pozzi, gallerie filtranti.

- Protezione e conservazione delle risorse idriche del sottosuolo: inquinamenti, abbassamenti della superficie piezometrica, ravvenamenti delle falde, fenomeni di subsidenza superficiale.

#### 2.3. Movimenti franosi

- Principali tipi di frane
- Previsione e prevenzione delle frane: sistemazione dei pendii, drenaggi, impermeabilizzazioni.

3) Pianificazione territoriale: programmazione della utilizzazione delle risorse idriche - pianificazione degli insediamenti urbani ed industriali.

#### Testi consigliati

MINISTERO RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA, *Prima relazione sulla situazione ambientale del paese*, 1973.

COMMISSIONE INTERMINISTERIALE PER LO STUDIO DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA E DELLA DIFESA DEL SUOLO, *Relazione conclusiva*, (1970) ed *Atti* (1974).

Soc. HYDROTECHNIQUE DE FRANCE, X JOURNÉES DE L'HYDRAULIQUE, *La prévision des crues*, 1968.

MINISTERO AGRICOLTURA E FORESTE, *Opere per la correzione dei torrenti*, Collana verde, 29, 1972.

G.B. CASTIGLIONI, *Geomorfologia*, UTET, 1986.

G. BENINI, *Sistemazioni idraulico-forestali*, CLEUP, Padova, 1978.

SCHWAB E ALTRI, *Elementary soil and water engineering*, Wiley, 1971.

VELZ, *Applied Stream Sanitation*, Wiley, 1970.

Per sostenere l'esame è indispensabile la conoscenza della Scienza delle costruzioni e dell'Idraulica. Si consiglia di frequentare con assiduità le lezioni, delle quali vengono forniti agli studenti gli appunti.

#### QUALITÀ DELL'ENERGIA ELETTRICA L

BO, cds: E

Docente: Andrea Cavallini prof. ass.

#### Obiettivi:

Il corso intende presentare in modo sistematico i disturbi alla qualità dell'energia, di natura transitoria e permanente. Per ogni tipo di disturbo sarà fornita la definizione operativa, le sorgenti, i problemi che esso arreca ed i modelli di propagazione dello stesso nelle reti di distribuzione, i sistemi di compensazione, cenni alla strumentazione necessaria per misurarne l'entità e la normativa vigente

### *Aspetti generali legati alla qualità dell'energia*

Il costo del guasto in generale e per vari settori della produzione industriale. Aspetti economici legati alla qualità dell'energia: livello ottimo di investimenti, accordi fra distributore ed utente. La qualità dell'energia come servizio del mercato elettrico. Livelli di Immunità ed emissione di un dispositivo elettrico operante in un ambiente industriale: approccio deterministico ed approccio probabilistico. Disturbi transitori e disturbi permanenti della tensione, classificazione dei disturbi. Aspetti normativi: le norme EN e CEI, i documenti IEC ed IEEE, l'attività dell'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas (AEEG).

### *Calcolo del danno economico associato ai guasti elettrici.*

Manutenzione e manutenibilità: tecniche di incremento della manutenibilità. Analisi di un sistema riparabile mediante catene di Markov. Disponibilità asintotica e puntuale. Frequenza di guasto di un sistema. Analisi della disponibilità di sistemi serie e parallelo. Analisi di sistemi industriali di distribuzione dell'energia attraverso lo standard IEEE 492 (Gold book). Analisi economica delle scelte.

### *Fenomeni permanenti: le armoniche nei sistemi elettrici*

Definizione di armoniche. Problemi legati alle armoniche. La propagazione delle armoniche nei sistemi elettrici: modelli delle reti ed aspetti probabilistici. La compensazione delle armoniche: filtri passivi e filtri attivi.

### *Fenomeni transitori: sovratensioni e buchi di tensione*

Origine e sorgenti dei disturbi transitori: Tecniche di rimozione dei cortocircuiti nelle reti elettriche e loro effetto sulla disponibilità e qualità dell'energia elettrica. Propagazione dei disturbi transitori nelle reti elettriche di distribuzione. Immunità ai disturbi transitori: la curva CBEMA Analisi probabilistica della immunità di un dispositivo operante all'interno di una rete. Metodologie di immunizzazione dei componenti elettronici.

### *Flicker*

Definizione di disturbo flicker. Fastidio fisiologico arrecato dal flicker: la curva di suscettibilità soggettiva. Sorgenti di flicker nelle reti elettriche: forni ad arco, saldatrici. Compensazione dinamica della potenza reattiva nei forni ad arco come metodo per eliminare il flicker

## **REATTORI NUCLEARI AVANZATI**

**BO, cds: N**

Docente: **Francesco Premuda** prof. ass.

L'Insegnamento si propone di avviare il futuro ingegnere nucleare alla trattazione dei fondamentali problemi fisici e fisico-matematici e di calcolo della progettazione neutronica dei reattori termici ad alta temperatura, dei reattori veloci e dei reattori a fusione.

### *Programma*

Tecniche di trasporto di prima collisione per problemi di cella e multicella nei reattori termici intrinsecamente sicuri ed HTGR. Basi fisiche, studio della cinematica e calcolo delle probabilità di transizione in energia per le reazioni di scattering anelastico dei neutroni con i nuclei e reazioni ( $n, 2n$ ), tra cui la  $n(D,Pn)n$ , e per le interazioni  $n-Li3$  o  $Li3$  nella neutronica degli schermi, dei reattori veloci e del breeding del trizio nei reattori a fusione. Problematiche fisiche e corri-

spondenti problematiche strutturali, ingegneristiche e di calcolo neutronico nei reattori veloci. I metodi di trasporto FPN e BN nel codice MC2-2 per il calcolo dello spettro energetico di un reattore veloce con elevate anisotropie dello scattering e del flusso angolare e relativo processamento dei dati nucleari a gruppi. Principi e problematiche inerenti alla convergenza di calcoli iterativi alla autofunzione dominante critica in diffusione e trasporto.

Gli schermi nei reattori a fissione e a fusione come sistemi sottocritici veloci. Caratteristiche delle reazioni di fusione determinanti per la costituzione e il funzionamento dei reattori a fusione calda a confinamento magnetico o inerziale; dipendenza delle reaction rates di fusione e dei termini di irraggiamento e riscaldamento dalla temperatura e dalla densità nel bilancio energetico di plasmi caldi debolmente o fortemente accoppiati.

Problematiche relative allo schermaggio della barriera coulombiana in plasmi degeneri; le statistiche di Boltzmann, di Fermi-Dirac e di Bose-Einstein. Lunghezza di schermaggio e idealità di un plasma degenerare. Reattori a fusione ICF a confinamento inerziale e relative problematiche codicistiche del trasporto di particelle cariche.

#### *Tesi*

Sviluppo di metodi e di algoritmi per il trasporto di neutroni e particelle cariche in reattori a fissione e a fusione; Fenomeni di trasporto di particelle di elevata energia in acqua pesante e in sistemi idrogenoidi trattati con metodi deterministici, stocastici o Monte Carlo. Processi di trasporto quantistico fermionico e bosonico in plasmi degeneri. Sperimentazioni con celle elettrolitiche Pd-D<sub>2</sub>O e determinazione dei prodotti delle fusioni.

## **RECUPERO E CONSERVAZIONE DEGLI EDIFICI L**

**CE, cds: dud**

Docente: **Claudio Galli** prof. inc.

### *Programma del corso*

La finalità del corso è di fornire gli strumenti concettuali ed operativi per la progettazione tecnologica del recupero nell'ambito di un inquadramento storico-culturale, normativo e legislativo in cui si è sviluppata la disciplina al fine di esplicitare il momento tecnico del progetto e l'esecutività del medesimo in un'ottica di sintesi con le diverse componenti dell'architettura.

Nello specifico il programma del corso si articola nei seguenti argomenti:

#### *1) Introduzione sulle problematiche del recupero e della manutenzione*

Definizioni di restauro, recupero, manutenzione, conservazione, ripristino, ristrutturazione.

Dalla questione del metodo dell'intervento sul costruito nel '700, dalle origini della manualistica del settore alla elaborazione di una teoria del restauro. Dal restauro dei monumenti archeologici al recupero e manutenzione dei centri storici e alla riqualificazione delle zone di più recente edificazione soggette a degrado fisico, tecnologico, funzionale.

#### *2) Fondamenti storici e riferimenti teorici della tecnologia del restauro*

Le origini della manualistica del recupero (Gallacini, Masi, Valadier, Zabaglia ...). I restauri archeologici durante il neoclassicismo. Violet le Duc e il progetto di restauro come scienza. Sviluppo della manualistica per il recupero nella Francia del secondo '800. Il filologismo da Boito a Giovannoni, il ritorno al metodo e classificazione dei tipi di restauro. I manuali del consolidamento. Il restauro critico e conservativo. Carte del restauro e l'uso dei materiali industriali. Attuali orientamenti della manualistica del recupero.

### 3) *Gli strumenti operativi previsti dalla legislazione*

Piani regolatori, Piani Particolareggiati, Piani di Recupero, Piani di Ristrutturazione Urbansistica. Normativa NORMAL per il controllo della qualità.

Leggi 1089/39 e 1497/39, Regolamento 1357/40, Legge Galasso, Legge 1152/61, 512/82, 457/78.

### 4) *Elementi di progettazione: lettura, tecnologia, progetto*

*Analisi morfologica e tipologica del contesto costruito e dell'organismo edilizio.* Riferimenti all'analisi morfologica e tipologica dei contesti costruiti ai processi di formazione della città, ai concetti sintetici di tipo edilizio e tipo architettonico, di processo tipologico e di tessuto edilizio e alle diverse componenti che concorrono alla definizione del tipo. L'analisi morfologica e costruttiva alla scala architettonica. Differenti concezioni costruttive degli organismi edilizi storici e di sistemi edilizi industriali. Logica del materiale e logica della produzione. Rapporti fra analisi sistemica e analisi tipologica di tipo strutturale. La conoscenza scientifica dell'edificio. Metodologia per il rilievo sistematico dell'organizzazione costruttiva, tecniche di rappresentazione storiche e in relazione alle diverse componenti funzionale, costruttiva, formale e ambientale.

*Analisi del degrado e dello stato di conservazione.* Patologia edilizia, diagnosi e terapia. Cause del degrado e sue manifestazioni. Interazione terreno-sistema costruttivo, interazione fattori ambientali-organismo edilizio, interazione sistema costruttivo-organismo edilizio. Il rilievo sistematico dei tipi di degrado e tecniche di rappresentazione.

*Il progetto di miglioramento e/o adeguamento.* Il progetto di intervento in un'ottica coerente e finalizzata al processo storico-costruttivo dell'organismo edilizio: miglioramento e non sempre adeguamento. Teoria delle prestazioni applicate al recupero: valutazione del potenziale tecnologico. Classificazione degli interventi: intervento circoscritto, intervento complessivo; interventi di conservazione, di integrazione (rigenerazione, completamento), di sostituzione (ripristino, rivisitazione). Requisiti di compatibilità, reversibilità, riconoscibilità. Criteri per la determinazione delle tecniche compatibili.

### 5) *Tecniche di recupero*

*Interventi sull'ossatura portante dell'organismo edilizio.* Metodologie e tecniche di consolidamento delle ossature murarie e delle fondazioni in rapporto alle cause generatrici il degrado. Restauro e consolidamento delle ossature lignee: tecnologia del materiale, tecniche storiche e tecniche innovative.

*Interventi sull'Involucro dell'organismo edilizio.* Umidità. Teoria generale, analisi, strumenti e tecniche per il risanamento. L'intonaco. Differenti tipi di intonaco, antiche tecniche, tecniche di ripristino localizzate o globali. Il riuso delle calce. I materiali lapidei. Tecniche di fissaggio, di protezione, conservazione, consolidamento. I formulati chimici e loro classificazione in rapporto allo specifico utilizzo e alle prestazioni fornite.

### *Bibliografia*

- C. GALLI, *Tecnologia e progetto nel recupero. Manuali storici e nuovi profili*, Ed. Kappa, Roma 1997.
- C. CESCHI, *Teoria e storia del restauro*, Ed. Bulzoni, Roma 1970.
- C. GALLI, *Percorsi storici e normativi delle vigenti leggi sul recupero*, in *Presenza Tecnica*, n. 6, dicembre 1986.
- L. CALECA, A. DE VECCHI, *Tecnologie di consolidamento delle strutture murarie*, Ed. Flaccovio, Palermo 1983.



- I.P. ROCCHI, *Manuale del consolidamento*, Ed. Dei, Roma 1991.  
 MASSARI, G. MASSARI, *Risanamento igienico dei locali umidi*, Ed. Hoepli, Milano 1981.  
 L. LAZZARINI, M. LAURENZI TABASSO, *La conservazione della pietra*, Ed. Cedam, Padova 1986.

## RETI DI CALCOLATORI

BO, cds: T,L,I

Docente: Antonio Corradi prof. straord.

### Finalità del corso:

Il corso affronta le problematiche introdotte dai sistemi interconnessi, in particolare i sistemi distribuiti, sia nel senso di architetture di dimensioni limitate, sia di sistemi globali. Obiettivo è di analizzare i problemi, di classificare le soluzioni e di identificare i criteri di progetto.

### Programma:

**Generalità** – Classificazione dei sistemi distribuiti, architetture MIMD e architetture a parallelismo massiccio, sistemi distribuiti decentralizzati ed eterogenei. Sistemi globali. Introduzione alla affidabilità delle soluzioni: ipotesi di guasto, protocolli per la tolleranza ai guasti. Necessità di considerare la qualità dei servizi (QoS) offerti.

**Modelli di interazione** – Classificazione delle interazioni in sistemi interconnessi: modelli cliente-servitore e sue evoluzioni, modelli a procedura remota, soluzioni a transazioni distribuite. Altri modelli di soluzione basati sul concetto di servizio. Esempi di interazione in sistemi standard di fatto (UNIX) e collegamenti con protocolli standard internazionali (TCP/IP). Applicazioni tipiche di Internet e Web: condivisione terminale, file e informazioni multimediali.

**File system distribuiti** – Requisiti di sistema: condivisione, disponibilità, replicazione e correttezza delle risorse, tolleranza ai guasti. Classificazione: file system di rete e file system distribuiti. Proprietà fondamentali: trasparenza, decentralizzazione, scalabilità. Esempi di sistemi (UNIX NFS, LOCUS, Sprite, Andrews). Criteri e metodologie di progetto.

**Sistemi operativi distribuiti** – Caratteristiche: allocazione e configurazione, granularità dei processi e loro interazione, mobilità dei processi, bilanciamento del carico, eterogeneità, tolleranza ai guasti. Problematiche di sicurezza nella comunicazione: crittografia e Kerberos. Esempi di sistemi (Chorus, Mach, Amoeba, DCE, CStools). Criteri e metodologie di progetto.

**Standardizzazione** – Standardizzazione delle soluzioni: standard di comunicazione, ISO/OSI ed Internet, standard di riutilizzo dei servizi esistenti. Organizzazione a livelli: livelli applicativi. Metodologia ad oggetti, sintassi astratta e concreta (ASN.1 e BER). Applicazioni standard distribuite. Confronto dello standard con gli ambienti di programmazione disponibili. Standard emergenti nel settore cliente/servitore e degli ambienti distribuiti ad oggetti (Java e CORBA). Evoluzioni delle soluzioni e nuove proposte: TINA, CORBA. Nuovi modelli di servizio e soluzioni per sistemi mobili con supporto a flussi continui di informazioni e in sistemi di dimensioni globali.

### Testi:

- G. COULOURIS, J. DOLLIMORE, T. KINDBERG, *Distributed Systems: concepts and Design*, Addison-Wesley, (terza edizione) 2000.  
 R.W. STEVENS, *TCP/IP Illustrated: vol.1, vol.2, vol. 3*, Addison-Wesley, 1994/5/6.

- L. PETERSON, B. DAVIE, *Computer Network, A Systems Approach*, Seconda edizione, Morgan Kaufmann, 2000, tradotto in "Reti di Calcolatori", Zanichelli, 1999.
- F. HALSALL, *Data Communication, Computer Networks and Open Systems*, tradotto in "Calcolatori e Sistemi Aperti", quarta edizione, Addison-Wesley, 1998.
- D. FLANAGAN, *Java in a Nutshell - A Desktop Quick Reference*, terza edizione, O'Reilly.
- D. AYERS, ET ALII, *Professional Java Server Programming*, Wrox Press, 1999.
- W. STALLING, *Operating Systems: Internals and Design Principles*, Prentice-Hall, 1998.
- D.L. GALLI, *Distributed Operating Systems: Concepts and Practice*, Prentice-Hall, 2000.

Si consigliano inoltre articoli e riviste sui diversi argomenti del corso (vedi <http://lia.deis.unibo.it/Courses/RetiDiCalcolatori>) e si prevedono dispense con il materiale del corso.

**Esami:** Gli esami consistono in una prova di progetto elaborata dal candidato sui temi trattati ed in una prova orale.

**Propedeuticità:** Si assume la conoscenza degli elementi di Calcolatori Elettronici II, ossia una buona conoscenza del settore dei Sistemi Operativi.

## RETI DI CALCOLATORI LA

CE, cds: dui, dul, dut

Docente: Eugenio Faldella prof. ord.

### Finalità del corso:

Il corso affronta lo studio delle reti di calcolatori, con l'obiettivo di analizzarne i problemi e di classificarne le soluzioni relativamente ad alcuni importanti aspetti progettuali.

### Programma:

**Generalità e nozioni introduttive** – Dai sistemi centralizzati ai sistemi distribuiti ed alle reti di calcolatori: obiettivi, campi di applicazione, problematiche ed aspetti progettuali. Elementi costitutivi delle reti di calcolatori. Topologie delle sottoreti di comunicazione. Canali di comunicazione punto a punto e a larga diffusione. Politiche di allocazione dei canali statiche e dinamiche, di tipo sia centralizzato che distribuito. Tecniche di commutazione di circuito, di messaggio, di pacchetto. Architetture di reti di calcolatori. Stratificazione gerarchica dei servizi. Strutturazione delle interfacce e dei protocolli di comunicazione tra entità agenti in strati adiacenti di uno stesso nodo e tra entità paritarie agenti in nodi diversi. Standardizzazione delle soluzioni: richiami sul modello di riferimento ISO/OSI.

**La rete INTERNET** – Il modello di riferimento. Modalità di identificazione dei nodi: indirizzi fisici, indirizzi logici, nomi simbolici. I protocolli ARP e RARP per la risoluzione degli indirizzi. Il Domain Name System. Il protocollo IP. I processi di frammentazione e di ricomposizione di un datagramma IP. Modalità di instradamento di un datagramma IP. Problematiche connesse al default routing ed al subnetting. Gli algoritmi distance vector e link state per la costruzione e l'aggiornamento delle tabelle di routing. Il protocollo ICMP per la segnalazione di condizioni anomale e per la gestione di messaggi di controllo della rete. I protocolli UDP e TCP per lo scambio di messaggi tra processi applicativi in esecuzione su host diversi. Caratteristiche e limitazioni di tali servizi di trasporto. L'identificazione dei processi in base alla porta attraverso cui accedono al servizio. Modalità di attuazione della tecnica sliding window in TCP ai fini del "end-to-end flow control" e del "congestion collapse control". Finalità e caratteristiche dei principali servizi a livello di applicazione. I protocolli SNMP, SMTP, HTTP.

*La gestione delle informazioni in reti di calcolatori* – Tecniche di rappresentazione delle informazioni in reti comprendenti calcolatori eterogenei ed architetture incompatibili. Sintassi astratta (ASN.1), sintassi concrete, sintassi di trasferimento (BER). Tecniche di compressione di messaggi costituiti da simboli incorrelati, sia equiprobabili che non equiprobabili (codice di Huffman e codice aritmetico). Tecniche di compressione basate su dizionario (algoritmo di Lempel-Ziv-Welch). Tecniche di compressione euristiche dipendenti dal contesto. Tecnologie per la sicurezza e l'integrità delle informazioni in reti di calcolatori. Principi di crittografia a chiave segreta: cifrari di sostituzione mono- e poli-alfabetici, cifrari di trasposizione, cifrari di prodotto. Data Encryption Standard (DES). Crittografia a chiave pubblica. L'algoritmo RSA: basi matematiche, complessità computazionale e prestazioni. Il problema della distribuzione delle chiavi. Protocolli di autenticazione. Firme digitali.

#### **Organizzazione del corso ed esami:**

Il corso prevede lezioni in aula, esercitazioni in aula, esercitazioni guidate in laboratorio ed esercitazioni libere in laboratorio. L'esame consiste in una prova scritta obbligatoria ed in una eventuale prova orale a carattere integrativo.

#### **Testi consigliati:**

Dispense a cura del Docente.

D. E. COMER, *Internet e Reti di Calcolatori*, Addison-Wesley, 2000.

A. S. TANENBAUM, *Reti di Calcolatori*, V edizione, Prentice-Hall, 1998.

F. HALSALL, *Reti di Calcolatori e Sistemi Aperti*, IV edizione, Addison-Wesley, 1998.

B. A. FOROUZAN, *I protocolli TCP-IP*, McGraw-Hill, 2001.

#### **RETI DI CALCOLATORI LA**

**BO, cds: I**

Docente: **Antonio Corradi** prof. straord.

#### **Finalità del corso:**

Il corso affronta alcuni dei temi connessi con i sistemi in rete, delineando le più comuni soluzioni con l'obiettivo di acquisire conoscenza delle strategie, di analizzare i problemi, e di fornire una buona conoscenza operativa di strumenti e progetti.

#### **Programma:**

##### **1. Generalità e Concetti di Base**

###### *Generalità dei sistemi distribuiti*

- inquadramento generale e definizioni di base
- sistemi distribuiti decentralizzati ed eterogenei
- necessità di standardizzazione delle soluzioni (ISO/OSI ed Internet)

###### *Concetti di base e alcuni modelli di soluzione*

Si presentano alcuni modelli caratteristici, come

- modelli a memoria condivisa ed a scambio di messaggi
- modello di interazione cliente/servitore
- affidabilità dei sistemi e modelli di guasto
- modelli di connessione, di replicazione, ecc.

## 2. Ambienti Standard

### Standardizzazione

#### Organizzazione a livelli ISO OSI

- generalità
- livello di trasporto e di rete
- livelli applicativi: sessione, presentazione, e applicazione

Alcune applicazioni standard distribuite

## 3. Protocolli TCP/IP

### TCP/IP e protocolli

I protocolli della suite TCP/IP: livelli di rete e trasporto.

Applicazioni comuni per:

- terminale remoto virtuale
- trasferimento di file
- servizi Asincroni: mail, news, e altri.

Alcuni strumenti a larga diffusione in ambiente UNIX e Windows ai diversi livelli

## 4. Alcuni strumenti di riferimento

*Alcuni strumenti di comunicazione di ampio utilizzo*

Socket e relative primitive

Socket in C (per UNIX) e in Java

*Esempi di interazione in sistemi UNIX e collegamenti con TCP/IP*

Alcune applicazioni cliente servitore sviluppate nei diversi ambienti di più comune uso

*Chiamate di Procedura Remota o RPC*

Uso di operazioni RPC per il supporto a NFS

Le RMI, operazioni remote in Java

## 5. Sistemi Operativi Distribuiti e servizi

*Sistemi operativi distribuiti*

Naming delle risorse

Granularità dei processi e loro interazione,

Gestione delle risorse

File system

*Alcuni problemi e possibili soluzioni*

Sistemi di nomi e DNS

Soluzioni per evitare congestione ed evoluzione dei protocolli.

*Testi:*

G. COULOURIS, J. DOLLIMORE, T. KINDBERG, *Distributed Systems: concepts and Design*, Addison-Wesley, (terza edizione) 2000.

A.S. TANENBAUM, *Computer Networks*, terza edizione, Prentice-Hall, 1996 (tradotto in "Reti di Calcolatori", Utet, 1997).

R.W. STEVENS, *TCP/IP Illustrated: vol.1, vol.2, vol. 3*, Addison-Wesley, 1994/5/6.

D. FLANAGAN, *Java in a Nutshell - A Desktop Quick Reference*, terza edizione, O'Reilly, 1999.  
Sono previste dispense sugli argomenti del corso

*Esami:*

Gli esami consistono di una prova scritta preliminare ed una prova ulteriore. La seconda prova prevede la scelta del candidato tra una prova orale o un progetto su un tema del corso.

**Propedeuticità:**

Si assume la conoscenza degli elementi di Sistemi Operativi.

**RETI DI TELECOMUNICAZIONI LA****BO, cds: T, I**

Docente: **Giorgio Corazza** prof. ord.

Il corso si propone di studiare i principi fondamentali delle reti di telecomunicazioni, con particolare riguardo alle reti di calcolatori.

*Programma del corso***Introduzione alle reti di telecomunicazioni**

Reti e servizi tradizionali. Telegrafo, telefono, radiocomunicazioni.

Fattori di evoluzione per le reti di telecomunicazioni: elettronica e microelettronica, mezzi trasmissivi, tecniche numeriche, reti di calcolatori, multimedialità. Telematica, evoluzione verso la rete ISDN.

Caratteristiche della rete di telecomunicazioni nello scenario tradizionale: utenza e suo sviluppo, mercato, gestori, monopoli, standardizzazione internazionale, ITU.

Evoluzione verso una rete a larga banda. Tecnica ATM.

Cambiamenti di scenario: liberalizzazione, nuovi gestori, importanza dei servizi radiomobili e di Internet. Possibili scenari futuri.

**Reti di calcolatori**

Primi esempi di reti di calcolatori: reti proprietarie delle industrie informatiche, reti proposte in ambito ITU, rete ARPANET.

Architetture per reti di calcolatori, stratificazione, modello di riferimento ISO - OSI a 7 strati. Terminologia ISO - OSI, funzioni svolte nei vari strati del modello. Altri modelli a strati.

**Problemi di teletraffico**

Sistemi soggetti a traffico, definizione di traffico, Erlang.

Sistemi di code, processi degli arrivi, processi dei servizi.

Teorema di Little.

**Problemi dello strato fisico**

Funzionalità per un protocollo dello strato fisico. Reti punto-punto e punto-multipunto.

Standard EIA/TIA RS 232. Caratteristiche meccaniche elettriche funzionali e procedurali.

Evoluzioni dello standard: RS 422, 423, 449.

Standard di strato fisico in ambito ITU-T. Raccomandazioni V24, X21 e X21bis.

Standard USB per porte seriali.

**Problemi dello strato di linea**

Compiti e funzionalità dello strato di linea

Esempio di protocollo di linea: protocollo HDLC. Formato della trama, procedura di dialogo.

Recupero dell'errore. Protocollo a finestra scorrevole. Controllo di flusso.

Efficienza dei protocolli di linea. Calcolo dell'efficienza nel caso di finestra unitaria. Influenza degli errori.

Rivelazione di errore. Codici per la rivelazione di errore. Bit di parità. Codici polinomiali e loro capacità di rivelazione.

**Reti in area locale**

Problematiche e scelte per le reti in area locale. Scelta della topologia. Protocolli per l'accesso multiplo a controllo distribuito..

Protocolli di accesso a contesa.. Protocollo Aloha. Problemi di efficienza e stabilità. Slotted Aloha. Protocollo CSMA. Collision Detect, codice di Manchester. Rete Ethernet

Protocolli di accesso Collision free. Protocollo token ring. Protocollo token passing.

Progetto IEEE 802. Architettura generale, LLC e MAC. Documenti dello standard.

Reti locali in fibra ottica. Protocollo FDDI, timed token. Protocollo DQDB, problemi di fairness; compatibilità con la rete ATM.

Evoluzioni dello standard IEEE 802.3 (rete Ethernet). Mezzi trasmissivi, Hub, repeater, bridge, router. Switched Ethernet. Fast Ethernet, Gigabit ethernet.

Reti locali wireless, IEEE 802.11.

**Problemi dello strato di rete**

Indirizzamento dei pacchetti. Commutazione di circuito e di messaggio. Commutazione di pacchetto. Funzione di routing, tabelle di routing.

Ricerca dei cammini di lunghezza minima. Algoritmo di Dijkstra.

Classificazione dei protocolli di routing. Flooding, Hot potato. Protocolli Distance vector, protocolli Link state.

**Rete Internet**

Internetworking. Famiglia di protocolli TCP/IP. Protocollo IP. Formato del pacchetto. Frammentazione. Indirizzi IP, network IP, subnetting e supernetting.

Routing in internet, Autonomous systems. Interior gateway protocols: RIP, OSPF. Exterior gateway protocols: BGP. IP sulle reti locali: protocollo ARP.

Cenni sul protocollo TCP.

**Testi consigliati.**

A. S. TANENBAUM, *Computer networks*, 3a ed., Prentice Hall, 1996.

D. COMER, *Internet e reti di calcolatori*, Addison-Wesley Longman Italia, 2000.

F. CALLEGATI, G. CORAZZA, *Elementi di teoria del traffico per le reti di telecomunicazioni*, Esculapio, 1998.

**RETI DI TELECOMUNICAZIONI LS****BO, cds: T**

Docente: **Giorgio Corazza** prof. ord.

Il corso rappresenta il seguito di Reti di Telecomunicazione L-A e si propone di approfondire lo studio dei principi fondamentali delle reti di telecomunicazioni, con particolare riguardo alle problematiche della rete Internet e delle reti a larga banda.

**Programma del corso****Introduzione.****Protocolli dello strato di rete della famiglia TCP/IP**

Protocollo IP. Indirizzi, network IP e relative classi. Subnetting e supernetting, netmask,

**Classless Interdomain Routing.** Indirizzi riservati per usi speciali.

Tabelle di routing per un host ed un router e loro utilizzo. Schema a blocchi di principio di un modulo IP.

Protocollo ARP. Formato del pacchetto ARP. ARP cache.

Protocollo ICMP

Opzioni disponibili nel protocollo IP.

### **Protocolli dello stato di Trasporto.**

Problematiche dello stato di trasporto. Interazione con gli strati applicativi. Modello client-server. Socket. Primitive di servizio.

Protocollo UDP. Formato del pacchetto.

Protocollo TCP. Formato del pacchetto, apertura della connessione, acknowledgement.

Protocollo a finestra, gestione delle finestre. Finestra di congestione, implementazioni del TCP.

### **Evoluzioni di Internet**

Enti di gestione di Internet. RFC e processo di standardizzazione.

IP/v6. Formato del pacchetto. Problematiche.

### **Reti a larga banda.**

Problematiche della rete a larga banda.

Modi di trasferimento: scelte fondamentali. Modalità di Multiplazione, principi di Commutazione, scelta di una Architettura dei protocolli.

Modi di trasferimento orientati al circuito ed al Pacchetto. Principali modi di trasferimento proposti e loro caratteristiche.

### **Segnalazione nella rete telefonica.**

Segnalazione utente-centrale e intercentrale. Sistemi di segnalazione. Segnalazione a canale comune.

### **Rete ISDN di prima generazione.**

Standard ITU-T, raccomandazioni della serie I, definizioni dei gruppi funzionali e dei punti di interfaccia. Canali definiti B, D ed H. Accessi standard.

Protocolli per l'Accesso base. Strato fisico, trama ISDN. Strato di linea, protocollo LAP-D. Accesso multiplo al canale D.

Procedura di dialogo a livello di rete: X25. Standard in ambito ITU-T. Circuiti virtuali. Formato del pacchetto X25.

Esempio di chiamata a circuito in ISDN.

Accessi ad alta velocità. ADSL e HDSL.

### **Rete ATM**

Standard di ITU-T. Architettura per ATM.

Strato ATM. Formato della cella. Circuiti virtuali e cammini virtuali.

Problematiche di strato fisico per la rete ATM. Reti plesiocrone, gerarchie PDH. Reti sincrone, SONET, gerarchia SDH. ATM su SDH e ATM su PDH. Strato fisico ATM basato su celle.

Strato di adattamento AAL. Sottostrato di convergenza (CS) e strato di segmentazione/ricomposizione (SAR).

Qualità di servizio. Classificazione delle sorgenti secondo ITU-T. Classi di sorgenti. Tipi di strati AAL: AAL1, AAL2, AAL3/4. Classificazione secondo ATM Forum. Strato AAL5.

Controllo dell'accesso. Controllo di ammissione, policing. Algoritmo Leaky Bucket.

**TCP/IP sopra ATM.****Testi consigliati**

- C. RAFFAELLI, *Appunti delle lezioni di Sistemi di Commutazione*, Pitagora Editrice, Bologna.  
 A. S. TANENBAUM, *Computer networks*, 3a ed., Prentice Hall, 1996.  
 B. FOROUZAN, *I protocolli TCP/IP*, Mc Grow Hill, 2000.

**RETI DI TELECOMUNICAZIONI LB**

CE, cds: dut

Docente: **Carla Raffaelli ric.**

Il corso rappresenta il seguito di Reti di Telecomunicazioni L-A e si propone di approfondire lo studio dei principi fondamentali delle reti di telecomunicazioni, con particolare riguardo alle problematiche di instradamento e di commutazione.

**Programma del corso**

Parte I – Tecniche di trasferimento dell'informazione in rete: schemi di multiploazione., principi di commutazione, architettura dei protocolli. Principali modalità di trasferimento: il modo di trasferimento a pacchetto; il modo di trasferimento a circuito; il modo di trasferimento a cella.

Parte II – Lo strato di rete nel modo di trasferimento a pacchetto – Funzioni dello strato di rete. Algoritmi di instradamento. Instradamento in Internet. Indirizzamento IP. Architetture di router IP. Evoluzione della rete Internet.

Parte III – Reti a commutazione di circuito: la rete telefonica numerica – La rete ISDN. L'accesso ad alta velocità ADSL. La commutazione numerica. Architetture a divisione di spazio e a divisione di tempo.

Parte IV – Il modo di trasferimento a cella – Servizi a larga banda e relativi requisiti. Lo standard ATM. La commutazione a larga banda. Sistemi di commutazione a larga banda.

Parte V – Lo strato di trasporto – Trasporto senza connessione: UDP; trasporto orientato alla connessione: TCP; controllo di flusso; round trip time; principi di controllo della congestione.

Parte VI – Tecniche di dimensionamento – Strumenti di valutazione di prestazioni: Analisi e simulazione. Elementi di teoria del traffico per reti a commutazione di circuito e di pacchetto. Sistemi a coda tempo-discreti. Esempi applicativi.

*Esercitazioni:* progettazione di reti geografiche IP e applicazioni dei protocolli di routing in ambito locale e geografico; monitoraggio del comportamento del TCP.

**Bibliografia**

- C. RAFFAELLI, *Appunti delle lezioni di Sistemi di Commutazione*, Pitagora Editrice, Bologna.  
 A. S. TANENBAUM, *Computer Networks*, Prentice-Hall International Ed. Terza edizione. In Italiano in edizione Jackson.



- L. KLEINROCK, *Queueing Systems*, Volume 1: theory, Wiley Interscience. In Italiano in edizione Jackson.
- W. STALLINGS, *Trasmissione dati e reti di computer*, in italiano in edizione Jackson, 2000.
- J. F. KUROSE, K.W. ROSS, *Internet e reti di calcolatori*, McGraw-Hill, 2001.

## RETI LOGICHE LA

Docenti: **Luigi Di Stefano** prof. ass.  
**Roberto Laschi** prof. ord.  
**Marco Prandini** ric.

BO, cds: L  
 BO, cds: I, A  
 BO, cds: T

### Finalità:

Introdurre il livello logico nella progettazione gerarchica dei sistemi digitali, evidenziandone i collegamenti con il livello architettonico e con quello fisico. Fornire metodologie e strumenti per risolvere i problemi di analisi e di sintesi delle macchine che ricevono, elaborano e generano segnali binari.

### Programma:

1. Unità funzionali di un calcolatore. Rappresentazione binaria dell'informazione. Segnali binari.
2. Il modello delle macchine sequenziali. La rete logica combinatoria. La memoria binaria.
3. Algebra di commutazione. Sintesi e analisi di reti logiche combinatorie.
4. Modularità e programmabilità nella progettazione di reti combinatorie complesse.
5. Teoria degli automi. Sintesi e analisi di reti logiche sequenziali sincrone.
6. Modularità e controllabilità in reti sequenziali complesse.
7. Il processore di un semplice calcolatore general-purpose.

*Esame* - Nella sessione posta al termine del corso gli studenti che hanno frequentato verranno valutati in base allo svolgimento di compiti a casa, di prove scritte intermedie, di una prova scritta finale ed, eventualmente, di una prova orale.

Gli studenti che non hanno frequentato verranno valutati in base allo svolgimento di una prova scritta ed una prova orale. Questa è anche la modalità d'esame in tutte le altre sessioni previste dal calendario.

### Bibliografia obbligatoria

Dispense curate dai docenti Manuali della strumentazione di laboratorio. Compiti da svolgere a casa. Guida alla soluzione dei compiti a casa. Prove d'esame risolte.

### Esercitazioni

Progettazione di semplici sistemi ed introduzione all'uso di strumenti automatici per la sintesi e l'analisi.

### Propedeuticità - Fondamenti di Informatica L-A

**RETI LOGICHE LA**Docente: **Luigi Di Stefano** prof. ass.**CE, cds: dut, dul, dui, clb****Finalità**

Fornire gli strumenti di base per la comprensione degli aspetti di base dei sistemi digitali.

**Programma**

I sistemi digitali. Il modello delle reti combinatorie. Il modello delle reti sequenziali sincrone. L'algebra di commutazione. Operatori logici elementari. Tecniche di progetto e tecniche di analisi di reti combinatorie a due livelli. Reti sequenziali sincrone. Elementi di memoria elementari: il flip flop D e sua caratterizzazione da un punto di vista logico e temporale; lettura del manuale di un C.I. con la funzione di FFD. I ritardi nelle reti sincrone ed il calcolo della massima frequenza di funzionamento.

**Esercitazioni**

Reti combinatorie: rassegna, analisi e sintesi di reti combinatorie di uso comune. Multiplexer, decoder, encoder di priorità, circuiti aritmetici elementari, alu. Reti sequenziali sincrone. Rassegna e analisi di registri di contattori.

**RICERCA OPERATIVA A e B**Docenti: **Paolo Toth** prof. ord.**Daniele Vigo** prof. ass.**BO, cds: G\_BO****Programma**

L'Insegnamento si propone di illustrare le principali metodologie per la soluzione dei problemi decisionali che si presentano nell'industria e nei servizi.

**Ricerca Operativa A:**

1. Complessità computazionale e Problemi di ottimizzazione: Complessità degli algoritmi e dei problemi. Problemi polinomiali. Problemi NP-completi. Algoritmi enumerativi per problemi NP-completi. Modelli matematici dei problemi di ottimizzazione. Algoritmi esatti ed euristici.

2. Simulazione di sistemi discreti: Generazione di variabili aleatorie, metodo della trasformazione inversa. Descrizione statica e dinamica di un sistema, metodo della programmazione degli eventi, metodo della interazione dei processi, diagrammi di flusso per problemi di simulazione.

3. Problemi polinomiali su grafi: Definizioni relative a grafi orientati e non orientati. Problemi di cammini: cammini minimi, cammini in grafi aciclici. Problemi di alberi: alberi ricoprenti a costo minimo. Problemi di flusso su rete: flusso massimo. Tecniche reticolari: CPM, PERT.

## Ricerca Operativa B:

4. Ottimizzazione lineare: Forma canonica e standard di un problema di ottimizzazione lineare. Soluzioni ammissibili e soluzione base. Algoritmo del simplesso: interpretazione geometrica, criterio di ottimalità, degenerazione, determinazione di una soluzione base iniziale. Teoria della dualità: problema duale, algoritmo del simplesso duale. Uso di un package di risoluzione.

5. Ottimizzazione lineare intera: Formulazioni di un problema di ottimizzazione lineare intera. Soluzione grafica. Totale unimodularità. Metodo branch and bound. Uso di un package di risoluzione.

### Organizzazione ed esami

Il corso prevede lezioni in aula, esercitazioni in aula ed esercitazioni libere in laboratorio. L'esame prevede prove scritte ed una prova orale integrativa.

### Testi Consigliati

Dispense a cura dei docenti (distribuite durante le lezioni e/o disponibili in rete).

S. MARTELLO, D. VIGO, *Esercizi di Ricerca Operativa*, Progetto Leonardo, Bologna, 1999.

S. MARTELLO, D. VIGO, *Esercizi di Simulazione Numerica*, Progetto Leonardo, Bologna, 1999.

### Testi per consultazione:

S. MARTELLO, *Lezioni di Ricerca Operativa*, Progetto Leonardo, Bologna, 2002.

M. FISCHETTI, *Lezioni di Ricerca Operativa*, Edizioni Libreria Progetto, Padova, 1995.

M. DELL'AMICO, *120 esercizi di ricerca operativa*, Bologna, Pitagora, 1996.

C. H. PAPADIMITRIOU, K. STEIGLITZ, *Combinatorial optimization : algorithms and complexity*, Englewood Cliffs (NJ), Prentice-Hall, 1982.

## RICERCA OPERATIVA LA

CE, cds: dui, dul

Docente: **Daniele Vigo** prof. ass.

### Programma

Il corso propone i principali strumenti messi a disposizione dalla Ricerca Operativa per la soluzione dei problemi decisionali che si presentano nell'industria e nei servizi.

1. Introduzione: Problemi decisionali e di ottimizzazione. Modelli dei problemi decisionali e di ottimizzazione e loro classificazione. Metodologia della Ricerca Operativa. Algoritmi e cenni sulla complessità computazionale.

2. Modelli ed algoritmi di Teoria dei Grafi: Generalità e definizioni. Problemi di determinazione di alberi a costo minimo. Problemi di determinazione di cammini a costo minimo. Cenni ai problemi di flusso su rete. Cenni a problemi più complessi (Commesso viaggiatore, instradamento di veicoli ...). Discussione degli aspetti implementativi.

3. Tecniche per la pianificazione dei progetti: Costruzione di reti di progetto. Metodo del cammino critico. Cenni a casi più complessi (PERT, risorse, tempi/costi ...).

4. Ottimizzazione Lineare: Modelli di ottimizzazione lineare e loro limiti. Proprietà dei problemi di ottimizzazione lineare. Soluzione per via grafica e cenni sugli algoritmi disponibili. Analisi di sensitività. Uso di un package di risoluzione.

5. Ottimizzazione Lineare Intera. Modelli di ottimizzazione a variabili intere. Algoritmo Branch and Bound. Uso di un package di risoluzione. Cenni sul software commerciale disponibile. Introduzione di tecniche euristiche e metaeuristiche per problemi specifici (instradamento di veicoli e taglio/impaccamento)

6. Ulteriori tecniche della Ricerca Operativa: Introduzione alla simulazione di sistemi discreti; Analisi decisionale in condizioni di incertezza e di rischio.

### Organizzazione ed esami

Il corso prevede lezioni in aula, esercitazioni in aula ed in laboratorio ed esercitazioni libere in laboratorio. L'esame prevede una prova scritta, una prova pratica in laboratorio ed una prova orale integrativa.

### Testi Consigliati

Dispense a cura del docente (distribuite durante le lezioni e/o disponibili in rete).

### Testi per consultazione:

- S. MARTELLO, D. VIGO, *Esercizi di Ricerca Operativa*, Progetto Leonardo, Bologna, 1999.  
 S. MARTELLO, D. VIGO, *Esercizi di Simulazione Numerica*, Progetto Leonardo, Bologna, 1999.  
 S. MARTELLO, *Lezioni di Ricerca Operativa*, Progetto Leonardo, Bologna, 2002.  
 M. FISCHETTI, *Lezioni di Ricerca Operativa*, Edizioni Libreria Progetto, Padova, 1995.  
 C. VERCELLIS, *Modelli e decisioni*, Progetto Leonardo, Bologna, 1997.  
 M. DELL'AMICO, *120 esercizi di ricerca operativa*, Bologna, Pitagora, 1996.  
 C. H. PAPADIMITRIOU, K. STEIGLITZ, *Combinatorial optimization : algorithms and complexity*, Englewood Cliffs (NJ), Prentice-Hall, 1982.

## RICERCA OPERATIVA LS

FO, cds: cla

Docente: **Daniele Vigo** prof. ass.

### Programma

Il corso illustra i principali strumenti messi a disposizione dalla Ricerca Operativa per la soluzione dei problemi decisionali e di ottimizzazione che si presentano in campo industriale e gestionale, con particolare riferimento alle applicazioni in campo aeronautico.

1. Introduzione: Problemi decisionali e di ottimizzazione. Modelli dei problemi decisionali e di ottimizzazione e loro classificazione. Metodologia della Ricerca Operativa. Algoritmi esatti ed euristici e cenni alla complessità computazionale.

2. Modelli ed algoritmi di Teoria dei Grafi: Generalità e definizioni. Problemi di determinazione di alberi a costo minimo. Problemi di determinazione di cammini a costo minimo. Problemi di flusso su rete: flusso massimo. Cenni a problemi più complessi (Commesso viaggiatore, instradamento di veicoli ...).

3. Ottimizzazione lineare: Forma canonica e standard di un problema di ottimizzazione lineare. Soluzioni ammissibili e soluzione base. Algoritmo del semplice: interpretazione geometrica, criterio di ottimalità, degenerazione, determinazione di una soluzione base iniziale. Analisi di sensitività. Uso di un package di risoluzione.

4. Ottimizzazione lineare intera: Formulazioni di un problema di ottimizzazione lineare intera. Soluzione grafica. Totale unimodularità. Metodo branch and bound. Uso di un package di risoluzione. Illustrazione di modelli per problemi applicativi specifici (instradamento di veicoli, layout e gestione di reti di telecomunicazione...).

5. Problemi di ottimizzazione in applicazioni aeronautiche: Problemi di controllo dei flussi nel traffico aereo. Modelli di ottimizzazione lineare intera ed algoritmi per il ground holding e la riassegnazione delle rotte. Problemi di turnazione del personale. Introduzione alle tecniche di simulazione numerica.

### Organizzazione ed esami

Il corso prevede lezioni in aula, esercitazioni in aula ed in laboratorio ed esercitazioni libere in laboratorio. L'esame prevede una prova scritta ed una prova orale/pratica integrativa.

### Testi Consigliati

Dispense a cura del docente (distribuite durante le lezioni e/o disponibili in rete).

### Testi per consultazione:

- S. MARTELLO, D. VIGO, *Esercizi di Ricerca Operativa*, Progetto Leonardo, Bologna, 1999.  
 S. MARTELLO, *Lezioni di Ricerca Operativa*, Progetto Leonardo, Bologna, 2002.  
 M. FISCHETTI, *Lezioni di Ricerca Operativa*, Edizioni Libreria Progetto, Padova, 1995.  
 M. DELL'AMICO, *120 esercizi di ricerca operativa*, Bologna, Pitagora, 1996.  
 P.TOTH, D. VIGO, *The Vehicle Routing Problem*, SIAM, Philadelphia, 2002.  
 C. H. PAPADIMITRIOU, K. STEIGLITZ, *Combinatorial optimization : algorithms and complexity*, Englewood Cliffs (NJ), Prentice-Hall, 1982.

### RICERCA OPERATIVA LS

BO, cds: I

Docente: **Silvano Martello** prof. ord

### Finalità del corso

Approfondire le teorie e le metodologie algoritmiche introdotte nel corso Fondamenti di Ricerca Operativa LA.

### Programma

#### 1. Simulazione di sistemi discreti

- 1.1 Complementi di statistica: variabili aleatorie, generazione di valori pseudo\_casuali, metodo della trasformazione inversa, distribuzioni discrete.
- 1.2 Descrizione statica e dinamica di un sistema, metodo della programmazione degli eventi, diagrammi di flusso per problemi di simulazione.
- 1.3 Linguaggio SIMSCRIPT II.5

**2. Programmazione lineare**

- 2.1 Teoria della dualità: problema duale, condizioni di ortogonalità.
- 2.2 Algoritmo del simplesso duale. Algoritmo primale-duale.

**3. Programmazione lineare intera**

- 3.1 Unimodularità; algoritmi con piani di taglio ed algoritmi enumerativi.
- 3.2 Programmazione lineare intera: metodo di Gomory, branch\_and-bound.
- 3.3 Programmazione lineare mista e binaria. Problema "knapsack" 0\_1.

**4 Teoria dei grafi**

- 4.1 Metodo PERT\_CPM.
- 4.2 Circuiti hamiltoniani: algoritmo enumerativo.
- 4.3 Problemi di flusso.
- 4.4 Relazioni tra cammini minimi, flussi e programmazione lineare.

**5 Teoria della complessità:**

- 5.1 Classi P ed NP. Problemi NP\_completi.
- 5.2 Complessità dei principali problemi di ottimizzazione combinatoria.
- 5.3 Programmazione dinamica. Problemi fortemente NP\_completi.

**6. Algoritmi branch\_and\_bound:**

- 6.1 Schemi di branching.
- 6.2 Rilassamenti: continuo, lagrangiano, surrogato. Applicazione al problema knapsack multiplo.
- 6.3 Procedure di riduzione.
- 6.4 Algoritmi approssimati: analisi sperimentale, probabilistica, worst\_case.

**Propedeuticità obbligatoria:** Fondamenti di Ricerca Operativa LA.

*Testi consigliati:*

- S. MARTELLO, *Lezioni di Ricerca Operativa*, Esculapio (progetto Leonardo), Bologna, 2000.
- S. MARTELLO, D. VIGO, *Esercizi di Ricerca Operativa*, Esculapio (progetto Leonardo), Bologna, 1999.
- S. MARTELLO, D. VIGO, *Esercizi di Simulazione Numerica*, Esculapio (progetto Leonardo), Bologna, 1999.

*Testi consigliati per eventuale approfondimento:*

- N. CHRISTOFIDES, *Graph Theory: an Algorithmic Approach*, Wiley, 1978.
- M. GAREY, D. JOHNSON, *Computers and Intractability: a Guide to the Theory of NP\_Completeness*, Freeman, 1979.
- S. Martello, P. Toth, *Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations*, Wiley, 1990.
- C. PAPADIMITRIOU, K. STEIGLITZ, *Combinatorial Optimization*, Prentice Hall, 1982.
- M. FISCHETTI, *Lezioni di Ricerca Operativa*, Libreria Progetto, Padova, 1995.
- M. DELL'AMICO, *120 Esercizi di Ricerca Operativa*, Pitagora Editrice, Bologna, 1996.

**Esami:** consistono in una prova scritta ed una orale.

**RILIEVO DELL'ARCHITETTURA**Docente: **Roberto Mingucci** prof. ass.

BO, cds: D

Il Rilievo dell'Architettura come specifica disciplina tende oggi a soddisfare le consapevoli esigenze di tutela del patrimonio architettonico, di recupero e riqualificazione dei centri storici e dell'ambiente urbano, delle emergenze ambientali e sismiche, che sempre più spesso comportano documentati interventi o restauri scientifici delle opere architettoniche di valore storico. In queste condizioni il rilevamento (sia che riguardi il singolo edificio od un complesso edilizio, urbano o rurale) ha la necessità di fondarsi su di un appropriato metodo scientifico oltre che su una solida base storico-architettonica. Con il termine "Rilievo" infatti non s'intende definire la semplice operazione di misurazione e rappresentazione grafica di un'architettura, bensì quel complesso di operazioni organicamente volte ad indagare (attraverso l'osservazione, l'analisi e la rappresentazione) tutte le sue componenti (da quelle metriche a quelle formali, strutturali, costruttive ecc.) utilizzando anche, per l'organizzazione informativa del contenuto "rivelato", classificazioni, codici e normative grafiche opportune.

In queste condizioni il Corso intende proporre lo studio del Rilievo come:

- processo di rappresentazione che conduce alla descrizione sistemica dell'oggetto architettonico o del monumento;
- insieme di strumenti idonei alla rappresentazione funzionale alla conoscenza ed all'interpretazione critica del costruito;
- costruzione del modello (grafico, fisico o digitale) inteso come esito di operazioni di lettura, misura, classificazione e codificazione.

Nel Corso saranno sviluppate esperienze sul progetto del rilievo e sulla sua tematizzazione. In particolare saranno affrontati i temi:

Rilievo, documentazione e progetto. Opera e modello. Il concetto di misura e la sua accuratezza. Cenni sulla storia del rilievo e dei suoi strumenti. Procedimenti e strumenti per l'esecuzione, la verifica ed il collaudo del rilievo architettonico. Rilievo diretto e strumentale. Livellazioni, trilaterazioni e triangolazioni. Accuratezza, precisione ed approssimazione: confronti tra diversi metodi. Cenni di fotogrammetria digitale e di costruzione di modelli informativi.

Saranno svolte esercitazioni pratiche di rilievo, con la finalità di sviluppare sia le necessarie capacità tecniche, sia di verificare le nozioni teoriche espresse dal Corso, inquadrando l'oggetto specifico delle operazioni di rilievo nel suo rapporto col contesto ambientale di immediata pertinenza, per dar significato progettuale alla produzione grafica e digitale delle rappresentazioni.

**RILIEVO DELL'ARCHITETTURA L**Docente: **Luca Cipriani** ric.

CE, cds: dud

*Programma del corso*

Rilevamento: fondamenti teorici e finalità. Strumenti di misura per il rilievo diretto e indiretto. Eidotipo e rilievo "per proporzioni". Metodi fondamentali per il rilevamento architettonico. Tecniche di prelievo delle misure planimetriche e altimetriche. Rilevamento di dettaglio e degli elementi costruttivi. Rilievo strumentale. Livellazioni. Procedimenti accessori. Rilievo delle lesioni dei fabbricati. Fotografia e rilevamento. Rilevamento per il censimento e la catalogazione dei beni architettonici. Cenni di rilevamento urbano: metodi e tematiche. Norme e convenzioni grafiche.

### Esercitazioni

Essendo il rilievo una disciplina fortemente pratica e procedurale, il corso si articola sull'elaborazione di esercitazioni pratiche obbligatorie su di un tema edilizio reale, in modo da collegare i contenuti delle comunicazioni ad esperienze di rilievo.

### Bibliografia di base

M. DOCCI, D. MAESTRI, *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Laterza, Bari 1994.

G. CENTO, *Rilievo edilizio architettonico*, Vitali e Ghianda, Genova, 1959

A. PRATELLI, *il disegno di architettura*, Charta, Milano 1995.

Le indicazioni bibliografiche sono da considerare come riferimenti generali e saranno integrate con indicazioni specifiche inerenti i temi svolti.

### Modalità d'esame

L'elaborazione e la presentazione dei lavori di esercitazione è condizione necessaria per l'ammissione all'esame. La prova d'esame è formata da:

- una prova pratica ed orale sui contenuti del corso;
- analisi e valutazione degli elaborati finali presentati, relativi ai lavori di esercitazione.

## ROBOTICA INDUSTRIALE

BO, cds: L, I

Docente: **Claudio Melchiorri** prof. straord.

L'Insegnamento si pone come obiettivo primario il fornire le basi di conoscenza necessarie per l'impiego ed il progetto di manipolatori robotici nel contesto dell'automazione industriale.

1. Inquadramento della robotica nel contesto dell'automazione della produzione industriale e delle applicazioni avanzate. Sviluppo del mercato dei robot.

2. Struttura dei manipolatori industriali; tipologia di impiego. Descrizione generale dei componenti HW/SW del sistema robot.

3. Cinematica dei robot. Trasformazioni omogenee. Problema cinematico diretto ed inverso. Spazio di lavoro.

4. Cinematica differenziale e statica dei robot.

5. Dinamica dei robot. Modellistica. Generazione delle traiettorie.

6. Problematiche del controllo: controllo di posizione e di posizione/forza.

7. Attuazione in robotica: motori elettrici, motori direct-drive, azionamenti analogici digitali.

8. Sistema sensoriale: sensori di posizione e forza, sistemi di visione.

9. Programmazione di robot: metodologie e linguaggi.

10. Illustrazione di robot commerciali; cenni ad applicazioni non convenzionali (ispezioni in ambienti pericolosi, teleoperazioni, supporti in medicina, ecc.).

Verranno effettuate visite guidate in laboratorio e presso aziende, con illustrazione delle funzionalità di robot commerciali.

### Testi consigliati:

M.W. SPONG, M. VIDYASAGAR, *Robot dynamics and control*, John Wiley & Sons, Inc., 1989.

M.P. GROOVER, M. WEISS, R.N. NACEL, N.G. ODREY, *Industrial robotics: Technology, Programming, and Applications*, McGraw-Hill, 1986.



Dispense del docente.

*Propedeuticità:* Controllo dei Processi; Tecnologie dei Sistemi di Controllo.

## SCIENZA DEI MATERIALI

Docente: **Franco Sandrolini** prof. ord.

**BO, cds: Q, G\_BO, M**

L'Insegnamento si propone di fornire gli strumenti necessari per una trattazione unitaria dei processi tecnologici, delle modalità di impiego e dei criteri di scelta dei materiali per l'Ingegneria.

Classificazione dei materiali. Principali materiali metallici, ceramici, polimerici e compositi impiegati nell'Ingegneria. Proprietà generali e principali processi tecnologici di fabbricazione e/o formatura (fusione/stampaggio, gelificazione, sinterizzazione, lavorazioni meccaniche).

Materiali monocristallini, policristallini ed amorfi. Difetti strutturali dinamici e statici, di equilibrio e di non equilibrio. Difetti statici: di punto, di linea, di superficie e di volume. Concentrazione dei difetti e proprietà dei materiali cristallini. Microstruttura e proprietà fisico-meccaniche dei materiali polifasici: eq. di Hall-Petch. Materiali compositi. Trasformazioni di equilibrio e di non equilibrio e microstruttura dei materiali (segregazione, involuppi, reazioni tra fasi, nucleazione ed accrescimento di nuove fasi). Esempi e applicazioni: trattamenti termici, fusione e solidificazione, purificazione dei materiali, etc.

Processi elementari di trasporto di materia nei solidi. Leggi di Fick. Effetto Hartley-Kirkendall. Applicazioni tecnologiche. Diffusione nei materiali policristallini. Sinterizzazione e tecnologia delle polveri. Esempi ed applicazioni.

Proprietà meccaniche dei materiali. Elasticità lineare e non lineare. Processi anelastici ed elasticità ritardata. Effetto termoelastico. Altri processi elementari di anelasticità nei materiali (trasporto di materia, moti reversibili delle dislocazioni, scorrimenti ai bordi di grano, etc.). Processi di rilassamento nei materiali e proprietà meccanico-dinamiche. Plasticità e meccanismi della deformazione plastica nei metalli. Incrudimento, riassetto e ricristallizzazione. Lavorazioni plastiche dei metalli. Comportamento meccanico dei materiali ceramici, polimerici, e compositi. Effetto della temperatura sulle proprietà meccaniche dei materiali: viscoelasticità e processi elementari di scorrimento viscoso, parametro di Larson-Miller e implicazioni progettuali. Processi di frattura nei materiali. Meccanica della frattura: teorie energetica e tensionale. Resilienza. Fattori fisici della frattura fragile. Frattura sotto carichi ciclici: fatica. Proprietà di superficie dei materiali: durezza, attrito, usura, etc.

Cenni alle proprietà elettriche dei materiali: conduttori, semiconduttori, isolanti.

Effetti dell'ambiente sui materiali e processi elementari di degradazione. Protezione dei materiali. Resistenza al fuoco dei materiali.

Normativa e prove sui materiali. Repertori di dati sui materiali. Criteri generali di scelta dei materiali. Sicurezza, affidabilità e progettazione. Prove di affidabilità sui materiali. Esempi di scelta dei materiali per impieghi funzionali e strutturali.

*Testi consigliati:*

J. WULFF (et al.), *Struttura e proprietà dei materiali*, CEA, Milano, 1976.

A.G. GUY, *Introduction to Materials Science*, McGraw-Hill, 1975.

(altri testi di aggiornamento su specifici argomenti vengono proposti durante le lezioni).

*Propedeuticità consigliate:* Termodinamica dell'ingegneria chimica, Scienza delle costruzioni, Elettrotecnica.

*Esercitazioni e laboratorio:* applicazioni numeriche relative agli argomenti trattati nell'insegnamento; determinazione sperimentale in laboratorio di alcune proprietà fisico-meccaniche dei materiali e della loro microstruttura (suddivise per gruppi a numero limitato di studenti). Normativa prestazionale, prove e legislazione.

*Esame orale.* Fogli ufficiali per le liste vengono affisse all'albo del Dipartimento di Chimica applicata a Scienza dei materiali il giorno precedente l'inizio degli appelli.

**SCIENZA DEI METALLI****BO, cds: Q, M**

Docente: **Giorgio Poli** prof. ass.

Studio dei materiali metallici in relazione al loro comportamento in esercizio. Scelta ed uso corretto dei materiali nella progettazione di impianti meccanici.

Richiamo e rivisitazione delle conoscenze nel campo dei materiali metallici con particolare riguardo alle correlazioni fra struttura e proprietà, al comportamento sotto carico statico o variabile, all'interazione chimica con l'ambiente, all'effetto della temperatura.

La tradizione in campo metallurgico: i metodi classici per la generazione di condizioni microstrutturali predefinite. I metalli di uso comune nell'industria meccanica.

L'innovazione in campo metallurgico: la metallurgia delle polveri. I nuovi trattamenti termici. Materiali metallici di nuova formulazione per usi speciali. Il rinforzo per particelle indeformabili: modelli e progettazione di materiali compositi a matrice metallica.

Richiamo ai concetti fondamentali della meccanica della frattura lineare elastica, MFLE. I nuovi parametri nella caratterizzazione dei metalli. La tensiocorrosione e la fatica alla luce della MFLE. La frattoscopia.

Le caratteristiche dei materiali nella gestione dell'affidabilità e alla sicurezza in esercizio. I controlli non distruttivi, CnD. La scelta del CnD per il monitoraggio di strutture e materiali in esercizio.

La progettazione di strutture e la scelta dei materiali. Conoscenza, fabbricazione e uso dei diagrammi di scelta. La garanzia della qualità nei materiali e nell'industria meccanica.

Durante l'insegnamento saranno tenute alcune esercitazioni pratiche sulla metallografia e sull'applicazione di tecniche analitiche, tradizionali e d'avanguardia, nella caratterizzazione microstrutturale dei metalli e delle superfici di frattura.

*Testi consigliati:*

1) Dispense dell'insegnamento.

2) W. NICODEMI, *Metallurgia*, Ed. Masson.

L'esame è costituito da una prova orale.

Sono disponibili *tesi di laurea*, sia di tipo sperimentale che compilativo, su vari argomenti che si collegano a quanto trattato nell'insegnamento.

## SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

Docente: Erasmo Viola prof. ord.

BO, cds: D

L'Insegnamento si propone di fornire i concetti di base della meccanica dei solidi e le metodologie per l'analisi strutturale e le relative verifiche.

**Analisi della deformazione.** Campo di spostamento all'intorno di un punto di un mezzo continuo e deformabile. Componenti di moto rigido e componenti di deformazione. Tensore di deformazione. Direzioni e dilatazioni principali di deformazione. Le condizioni di compatibilità interna.

**Analisi della tensione.** Equazioni di equilibrio del corpo rigido. Tensione interna. Componenti cartesiane e componenti speciali di tensione. Equazioni di Cauchy. Teorema di reciprocità delle componenti mutue. Equazioni indefinite di equilibrio e ai limiti e loro rappresentazione in notazione tensoriale, matriciale ed operatoriale.

**Relazioni generali.** Il teorema dei valori virtuali per i corpi deformabili. L'equazione dei lavori virtuali. Elementi di calcolo delle variazioni. I principi delle forze e degli spostamenti virtuali. Principio della minima energia potenziale totale.

**Equilibrio elastico.** Il corpo elastico lineare. Leggi di Hooke. L'ipotesi di isotropia.

Il principio dell'equilibrio elastico. Formulazione in termini di sole forze (equazioni di Beltrami-Mitchell), di soli spostamenti (equazioni di Navier-Lamé), ed in modo misto.

I metodi di soluzione del problema dell'equilibrio elastico: metodo delle tensioni e metodo degli spostamenti. I teoremi del lavoro di deformazione: teorema di Clapeyron, il teorema di Betti, primo teorema di Engesser, secondo teorema di Castigliano. Metodi di soluzione approssimati del problema dell'equilibrio elastico: il metodo di Ritz-Rayleigh, il metodo degli elementi finiti.

**Il problema di Saint-Venant.** Impostazione generale. Postulato di Saint-Venant. I quattro casi fondamentali. La flessione reatta. Flessione composta. Torsione, il centro di torsione. Sollecitazione di taglio e flessione; trattazione approssimata di Jourawski.

**Criteri di resistenza.** Coefficiente di sicurezza. Le prove sui materiali.

**Teoria delle strutture.** Cenni sui modelli matematici impiegati nell'analisi strutturale. Analisi statica e cinematica del corpo rigido e delle strutture piane. Determinazione della sollecitazione nei problemi piani e spaziali. Determinazione delle componenti dell'azione interna mediante il principio dei lavori virtuali. Integrazione dell'equazione differenziale della linea elastica. I corollari di Mohr. Il metodo cinematico per travi ad asse rettilineo. Trave continua. I teoremi di Clapeyron, Betti, Castigliano e Menabrea sul lavoro di deformazione, applicati alle travi. Stabilità dell'equilibrio elastico. Il metodo Omega. Verifiche di resistenza.

**Analisi probabilistica delle strutture.** Definizioni di probabilità e relativi teoremi. Elementi di probabilità e di variabile aleatoria, con applicazione alle travi. Funzione di densità e di ripartizione. Valori caratteristici di una distribuzione bidimensionale. progetto e verifica della sezione in termini di affidabilità e di probabilità di crisi.

**Meccanica della frattura.** Sviluppi asintotici delle componenti di tensione e di spostamento all'apice di una fessura. Modi di estensione del e fattori di intensificazione delle tensioni. Forma e dimensione della zona plastica. Criteri di crisi per frattura.

**Cemento armato.** Proprietà del calcestruzzo, determinazione della lavorabilità, additivi e curva granulometrica degli inerti. Normativa italiana ed europea. Teoria statica del c.a. Momento

resistente. Verifica della sezione soggetta a taglio e flessione. Ripartizione dei carichi verticali tra pilastri. Disposizione delle armature in pilastri, travi, solai e plinti di fondazione. Prescrizioni regolamentari.

*Testi consigliati:*

VIOLA E., *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni*, vol. 1-4, Pitagora Editrice.

VIOLA E., *Scienza delle Costruzioni - Teoria dell'elasticità*, vol. 1, Pitagora Editrice.

VIOLA E., *Scienza delle costruzioni - Teoria della trave*, vol. 3, Pitagora Editrice.

*Esame:* scritto e orale.

*Tesi di laurea*

Sono disponibili tesi di laurea di carattere teorico, oppure applicativo, sui seguenti argomenti: Analisi matriciale delle strutture - Elementi finiti - Meccanica della frattura - Fatica - Analisi probabilistica delle strutture - Strutture speciali.

**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI**

**BO, cds: G\_BO**

Docente: **Alberto Custodi ric.**

*Programma*

*Statica* - Azioni esterne: forze distribuite di volume e superficiali, forze concentrate, distorsioni - statica del corpo rigido libero: equazioni cardinali della statica - vincoli esterni ed interni - sistemi piani di travi: caratteristiche di sollecitazione e loro equazioni indefinite; studio analitico e grafico - strutture reticolari piane.

*Geometria delle masse* - Sistemi discreti: baricentro e momenti statici - sistemi continui: momenti d'inerzia (teorema di Huyghens), teorema del trasporto per il momento centrifugo, assi principali d'inerzia e loro proprietà, espressione dei momenti principali d'inerzia, cerchi di Mohr, ellisse centrale di inerzia.

*Analisi della deformazione* - Campo di spostamento - reciprocità degli spostamenti - coefficiente di dilatazione cubica - deviatore di deformazione - misura di dilatazioni lineari specifiche.

*Analisi della tensione* - Tensione - tensore degli sforzi: componenti e direzioni principali - deviatore degli sforzi - equazioni indefinite di equilibrio - cerchi di Mohr - stati biassiali e monoassiali di tensione.

*Principio dei lavori virtuali* - Sistema forze-tensioni staticamente ammissibile - sistema spostamenti - deformazioni cinematicamente ammissibile - principio dei lavori virtuali per corpi deformabili e per corpi rigidi.

*Lavoro di deformazione* - Lavoro di deformazione e lavoro complementare di deformazione.

*Sistemi elastici* - Energia elastica ed energia elastica complementare - stato elastico lineare - il problema dell'equilibrio per i solidi in stato elastico lineare (teorema di Kirchhoff).

*Comportamento meccanico dei materiali* - Comportamento meccanico di materiali duttili e fragili per stati monoassiali di tensione: solidi di prova, procedure sperimentali, parametri misurabili - Classificazione meccanica.

*Problema di De Saint Venant* - Casi di sollecitazione semplice nelle travi - sforzo normale centrato - flessione retta - sforzo normale eccentrico - torsione: sezione circolare - taglio-flessione: trattazione di Jourawski, centro di taglio.

*Criteri sicurezza* - Inquadramento storico - criterio di Von Mises per materiali duttili - criterio di Mohr-Coulomb per materiali coesivi.

*Stabilità dell'equilibrio* - Carico critico euleriano - snellezza - iperbole euleriana - metodo omega.

**Testi consigliati:**

L. BOSCOTRECASE, A. DI TOMMASO, *Statica applicata alle costruzioni*, Pàtron Ed., Bologna, 1976.

A. DI TOMMASO, *Fondamenti di Scienza delle Costruzioni*, Parte I e II, Pàtron Ed., Bologna.

E. VIOLA, *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni*, 1 e 2, Pitagora Ed., Bologna, 1993.

G. PASCALE, *Scienza delle Costruzioni-Esercizi d'esame svolti*, Prog. Leonardo, Bologna, 1993.

E. D'ANNA, *Appunti di Scienza delle costruzioni*, CLUEB, Bologna, 1981.

T. CAVALLINA, *Esercitazioni di scienze delle costruzioni*, CLUEB, Bologna, 1981.

Propedeuticità: Meccanica Razionale.

**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI**

**BO, cds: M**

Docente: **Francesco Ubertini** prof. ass.

L'insegnamento si propone di fornire i concetti di base della meccanica dei solidi e le metodologie per l'analisi strutturale e le relative verifiche.

**Analisi della deformazione.** Il campo di spostamenti nell'intorno di un punto di un mezzo continuo. Le componenti di moto rigido e le componenti di deformazione. Il tensore di deformazione. Le direzioni e le dilatazioni principali. Le condizioni di compatibilità interna.

**Analisi della tensione.** Proprietà locali dello stato di tensione. Il tensore degli sforzi. Il teorema di reciprocità delle componenti mutue. Le direzioni e le tensioni principali. I circoli di Mohr. La classificazione degli stati tensionali. Le equazioni di equilibrio indefinite e ai limiti.

**Relazioni generali.** Il principio dei lavori virtuali. La formulazione integrale dell'equilibrio e della congruenza.

**Il corpo elastico.** Il potenziale elastico. Il caso dell'elasticità lineare. L'ipotesi di isotropia. La legge di Hooke. Il problema dell'equilibrio elastico. La formulazione in termini di sole forze (equazioni di Beltrami-Mitchell) e di soli spostamenti (equazioni di Navier-Lamé). L'unicità della soluzione. I metodi di soluzione del problema dell'equilibrio elastico: metodo delle forze e metodo degli spostamenti. I teoremi di Clapeyron, Betti, Maxwell e Castigliano.

**Principi variazionali.** Elementi di calcolo delle variazioni. Il principio della minima energia potenziale totale. Il principio della minima energia complementare. Cenni sui metodi di risoluzione approssimata del problema dell'equilibrio elastico. Il metodo di Rayleigh-Ritz. Il metodo degli elementi finiti.

Criteri di crisi. Coefficiente di sicurezza. Le prove sui materiali.

Il problema di De Saint-Venant. L'impostazione generale. Il postulato di De Saint-Venant. Lo sforzo assiale. La flessione retta. La flessione deviata. Lo sforzo assiale eccentrico. La torsione. Il taglio (trattazione approssimata di Jourawski).

Teoria delle strutture. Cenni sui modelli matematici impiegati nell'analisi strutturale. Analisi statica e cinematica di sistemi di travi. La linea elastica. I teoremi di Clapeyron, Betti, Castigliano e Menabrea applicati alle travi. La stabilità dell'equilibrio elastico. Il metodo Omega. Le verifiche di resistenza.

*Esame:* scritto e orale.

#### *Tesi di laurea*

Sono disponibili tesi di laurea, di carattere teorico o applicativo, su temi di Meccanica dei solidi, Meccanica delle strutture e Meccanica computazionale.

#### *Testi Consigliati*

VIOLA E., *Esercitazioni di scienza delle costruzioni*, vol. 1-4, Pitagora editrice.

VIOLA E., *Scienza delle costruzioni - teoria dell'elasticità*, vol. 1, Pitagora editrice.

VIOLA E., *Scienza delle costruzioni - teoria della trave*, vol. 3, Pitagora editrice.

## **SCIENZA DELLE COSTRUZIONI**

**BO, cds: R, Q, N (V.O.)**

Docente: **Antonio Di Leo** prof. ass.

L'insegnamento si propone di fornire gli elementi fondamentali del calcolo strutturale con particolare riferimento alle ipotesi, ai principi ed alle limitazioni della metodologia di calcolo delle strutture nel campo elastico lineare.

- a) *Analisi degli elementi fondamentali della meccanica applicata alle costruzioni.*
  - a.1) Definizione e studio dello stato di tensione nei mezzi continui.
  - a.2) Definizione e studio dello stato di deformazione nei mezzi continui.
  - a.3) Correlazioni derivanti dall'uso del principio dei lavori virtuali.
  - a.4) Ipotesi e limitazioni connesse al modello del comportamento elastico-lineare dei mezzi continui.
  - a.5) Criteri per la valutazione del coefficiente di sicurezza in campo elastico.
  
- b) *Le verifiche di sicurezza col metodo elastico.*
  - b.1) Lo studio del solido ideale schematizzante la trave.
  - b.2) Le verifiche di sicurezza nei diversi casi di sollecitazione semplice.
  - b.3) Le verifiche di sicurezza nei diversi casi di sollecitazione composta.
  
- c) *I modelli strutturali.*
  - c.1) Le travi.
  - c.2) Le condizioni di vincolamento.
  - c.3) Le azioni interne.

- c.4) La determinazione delle azioni interne nelle strutture isostatiche.
- c.5) La determinazione delle deformazioni nelle strutture isostatiche.
- c.6) La soluzione delle strutture iperstatiche.
- c.7) La sicurezza delle strutture nei riguardi dei fenomeni d'instabilità.

**Testi consigliati:**

- L. BOSCOTRECASE, A. DI TOMMASO, *Statica applicata alle costruzioni*, Pàtron, Bologna.
- A. DI TOMMASO, *Fondamenti di Scienza delle Costruzioni*, Pàtron, Bologna.
- E. VIOLA, *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni*, Pitagora, Bologna.

**Propedeuticità consigliate:** Analisi matematica I, II, Meccanica razionale.

**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI L**

**BO, cds: R**

Docente: **Antonio Di Leo** prof. ass.

**GEOMETRIA DELLE AREE:**

Momento statico, baricentro, momento d'inerzia, momento centrifugo, momento polare, formule di trasporto per i momenti del 1o e del 2o ordine, ellisse centrale d'inerzia.

**STATICA:**

Azioni esterne: forze concentrate, forze distribuite, risultante di un sistema di forze, distorsioni; Statica del corpo rigido libero: equazioni cardinali, vincoli esterni ed interni e loro prestazioni statiche e cinematiche, sistemi labili-isostatici-iperstatici, sistemi staticamente impossibili, determinati ed indeterminati;

Statica dei sistemi piani di travi: caratteristiche di sollecitazione e loro equazioni indefinite, studio analitico e grafico, curva delle pressioni;

**STATO TENSIONALE E DEFORMATIVO DEI SISTEMI DI TRAVI:**

Tensione: vettore tensione, componenti scalari, equazioni indefinite di equilibrio, componenti e direzioni principali, cerchi di Mohr;

Deformazione: campo di spostamento, componenti di deformazione, componenti e direzioni principali, coefficiente di dilatazione cubica, deviatore di deformazione, misura di componenti di deformazione e di spostamento;

Identità fondamentale nella meccanica dei solidi: sistema forze-tensioni staticamente ammissibile, sistema spostamenti-deformazioni cinematicamente ammissibile, principio dei lavori virtuali per corpi deformabili e per corpi rigidi;

Sistemi elastici: stato elastico, stato elastico lineare, principio di sovrapposizione degli effetti, omogeneità ed isotropia, leggi di Hooke;

Teoria tecnica della trave (De S. Venant): formulazione del problema, casi di sollecitazione semplice nelle travi, sforzo normale centrato, flessione retta, sforzo normale eccentrico, torsione (sezione circolare, sezioni sottili aperte e cave), taglio-flessione (trattazione di Jourawski, centro di taglio);

**CRITERI DI SICUREZZA:**

Comportamento meccanico di materiali strutturali e loro classificazione meccanica, criterio di Von Mises per materiali duttili, criterio di Mohr-Coulomb per materiali coesivi;

**STABILITÀ DELL'EQUILIBRIO:**

Carico critico euleriano, metodo omega.

**Testi consigliati:**

1. L. BOSCOTRECASE, A. DI TOMMASO, *Statica applicata alle costruzioni*, Patron Ed., Bologna, 1976.
2. A. DI TOMMASO, *Fondamenti di Scienza delle Costruzioni*, Parte I, 1981; Parte II, 1993, Patron Ed., Bologna.
3. E. VIOLA, *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni, 1/ Strutture Isostatiche e Geometria delle Masse, 2/ Strutture Iperstatiche e Verifiche di Resistenza*, Pitagora Ed., Bologna, 1993.

**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI I**

CE, cds: dud

Modulo di **STATICA** Giovanni Pascale prof. ass.

**1 STATICA E CINEMATICA DEI SISTEMI RIGIDI**

Richiami di statica. Composizione e decomposizione di sistemi piani di forze. Proprietà statiche e cinematiche dei vincoli. Statica del corpo rigido, delle travi e dei sistemi piani di travi. Studio analitico e grafico delle strutture isostatiche. Cinematica dei sistemi rigidi. Principio dei Lavori Virtuali applicato ai sistemi rigidi. Caratteristiche della sollecitazione. Travi Gerber. Strutture reticolari piane: studio attraverso i metodi dell'equilibrio dei nodi e delle sezioni di Ritter.

**2 GEOMETRIA DELLE MASSE**

Sistemi piani di masse concentrate e distribuite. Studio delle proprietà geometriche e inerziali delle sezioni piane. Baricentro, momenti statici e momenti del secondo ordine. Assi e momenti principali d'inerzia. Costruzione grafica di Mohr per i momenti del secondo ordine. Ellisse centrale d'inerzia. Nocciolo d'inerzia.

**3 LA TRAVE CARICATA ASSIALMENTE**

Studio dello stato di tensione e di deformazione. Lavoro di deformazione. Elasticità. Elasticità lineare. Materiali isotropi: leggi di Hooke. Modulo di Young e coefficiente di Poisson.

**4 LA TRAVE INFLESSA**

Flessione retta. Tensioni (formula di Navier), deformazione dell'asse e della sezione, deformazione del concio elementare (legame momento-curvatura). Rigidezza flessionale.

Flessione deviata e sforzo normale eccentrico. Determinazione analitica e grafica dell'asse neutro. Distribuzione della tensione normale sulla sezione.

**5 DEFORMAZIONE DELLE STRUTTURE ISOSTATICHE**

Determinazione dell'equazione della linea elastica per travi semplici. Calcolo di componenti di spostamento attraverso l'equazione della linea elastica ed il metodo cinematico.

**6 SIMMETRIA ED ANTISIMMETRIA DELLE STRUTTURE**

Proprietà dei diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione. Proprietà della deformata.



## 7 MATERIALI E SPERIMENTAZIONE

Materiali duttili e fragili. Acciai e calcestruzzi: classificazione e cenni alle normative. Legami costitutivi. Materiali compositi fibrosi a matrice polimerica: cenni.

Sperimentazione dei materiali e delle strutture: macchine di prova, procedure sperimentali e strumentazione per la misura di forze, spostamenti e deformazioni, con applicazioni pratiche in laboratorio.

## Modulo di ELEMENTI DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (Prof. Giovanni Pascale)

### 1 ELEMENTI DI MECCANICA DEI CONTINUI

Analisi della deformazione e della tensione. Tensioni tangenziali e scorrimenti angolari. Rappresentazione tensoriale delle tensioni e delle deformazioni. Trasformazioni per rotazioni del sistema di riferimento. Direzioni principali. Stati particolari di deformazione e di tensione. Rappresentazione grafica di Mohr per gli stati tensionali piani. Leggi di Hooke generalizzate.

### 2 LA TRAVE SOGGETTA A SOLLECITAZIONI DIVERSE

La trave soggetta a torsione. Analogia idrodinamica. Sezione circolare, sezione rettangolare, sezioni sottili aperte e chiuse.

La trave soggetta a taglio e flessione. Trattazione approssimata di Jourawsky.

### 3 SICUREZZA STRUTTURALE

Generalità sui criteri di crisi per stati di tensione pluriassiali. Tensione equivalente in base ai criteri di Rankine-Navier, Mohr-Coulomb, Tresca, Beltrami e Huber-Mises-Hencky.

Dimensionamento e verifica di resistenza di travi soggette a sollecitazioni semplici e composte, col metodo delle tensioni ammissibili.

Cenni di analisi limite delle strutture in acciaio per sollecitazioni flessionali (momento plastico della sezione).

### 5 ANALISI DELLE STRUTTURE

Principio dei Lavori Virtuali, con applicazione al calcolo di componenti di spostamento di strutture isostatiche.

Concetti di rigidità e deformabilità delle travi.

Analisi di strutture iperstatiche soggette a carichi e variazioni termiche, con eventuali cedimenti vincolari, attraverso il metodo delle forze e il P.L.V. Determinazione delle caratteristiche della sollecitazione e della deformata elastica. Telai a nodi fissi ed a nodi spostabili.

### 6 INSTABILITÀ DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Impostazione del problema. L'asta di Eulero. Lunghezza libera d'inflessione. Snellezza. Iperbole di Eulero e snellezza limite. Metodo Omega.

#### *Libri di testo*

PASCALE, *Lezioni di scienza delle costruzioni*, Voll. 1 e 2, Esculapio - Progetto Leonardo, Bologna.

VIOLA, *Esercitazioni di scienza delle costruzioni*, Voll. 1 e 2, Pitagora, Bologna.

PASCALE, *Scienza delle costruzioni: esercizi d'esame svolti*, Esculapio - Progetto Leonardo, Bologna.

BIGONI, DI TOMMASO, GEI, LAUDIERO, ZACCARIA, *Geometria delle masse*, Esculapio - Progetto Leonardo, Bologna.

*Altri testi di riferimento*

DI TOMMASO, *Fondamenti di scienza delle costruzioni*, Patron, Bologna.

CARPINTERI, *Scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna (con esercizi).

VIOLA, *Scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna.

BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, Zanichelli, Bologna.

CAPURSO, *Lezioni di scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna.

BEER, JOHNSTON, *Scienza delle costruzioni*, Mc Graw Hill, Milano.

**Modalità di svolgimento degli esami**

L'esame consiste in una prova orale, preceduta dallo svolgimento di uno o più esercizi scritti.

Gli allievi che desiderano ulteriori informazioni possono rivolgersi al titolare dell'insegnamento, al numero telefonico diretto 051/2093515, oppure al seguente indirizzo di posta elettronica: giovanni.pascale@mail.ing.unibo.it.

**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI II****BO, cds: D, C**

Docente: **Eugenio D'Anna** prof. ass.

L'Insegnamento intende ampliare le ipotesi e le metodologie di calcolo assunte nel corso di Scienza delle Costruzioni, analizzando il comportamento non lineare dei sistemi piani di travi per effetto del superamento della soglia elastica (non linearità meccanica) ed a causa dell'instabilità dell'equilibrio (non linearità geometrica).

**PARTE PRIMA - SICUREZZA STRUTTURALE**

Generalità sulla sicurezza strutturale.

Statistica e probabilità. Esperimento casuale. Spazio campione. Variabili aleatorie. Funzioni di probabilità. La distribuzione normale.

Il "metodo semiprobabilistico agli stati limite".

I meccanismi di collasso delle strutture isostatiche. Travi di materiale duttile. Travi in c.a.

I meccanismi di collasso delle strutture iperstatiche. "Analisi limite" dei sistemi piani di travi.

**PARTE SECONDA - PROBLEMI GEOMETRICAMENTE NON LINEARI**

A) La meccanica classica. Il funzionale dell'energia nei sistemi rigidi.

Il funzionale dell'energia nei sistemi deformabili. I sistemi discreti. I sistemi continui.

Spostamenti e deformazioni del II ordine.

Elementi di calcolo delle variazioni. Elementi di calcolo matriciale delle strutture monodimensionali..

B) Problemi di stabilità.

Formulazione linearizzata del problema di stabilità. La trave euleriana. La trave di sezione sottile aperta.

Profili soggetti a compressione semplice e a flessione pura.

C) Travi con "momenti primari". La trave compressa ed inflessa. Portali e telai.

D) Metodi numerici di risoluzione. Metodo energetico (di Rayleigh), metodo di Ritz, metodo degli elementi finiti.

E) Meccanica non lineare dei telai piani in acciaio e c.a. Riferimenti alla vigente normativa.

**Testi consigliati:**

- POZZATI P., CECCOLI C., *Teoria e tecnica delle strutture*, Torino, UTET, vol. III.  
 MIGLIACCI A., MOLA F., *Progetto agli stati limite delle strutture in c.a.*, Milano, Masson, vol. I.  
 NEAL B.G., *The Plastic Method of Structural Analysis*, London, Chapman & Hall.  
 LANCZOS C., *The Variational Principles of Mechanics*, University of Toronto Press.  
 CORRADI L., *Instabilità delle strutture*, CLUP, Milano.  
 CANNAROZZI A.A., *Appunti dalle lezioni del Corso di "Analisi computazionale delle strutture"*,  
 Univ. di Bologna.  
 Dispense a cura del docente.

**SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI CERAMICI****BO, cds: Q**Docente: **Carlo Palmonari** prof. ord.**Programma****Introduzione all'Insegnamento**

La ceramica ed i prodotti ceramici: definizioni, classificazioni. Ceramici tradizionali e ceramici speciali.

**Microstruttura e proprietà generali dei materiali ceramici.**

Cenni su materiali monocristallini, polieristallini, amorfi. Struttura e microstruttura dei materiali ceramici. Richiami sui diagrammi di stato in fase condensata. Caratteristiche e distribuzione delle fasi. La porosità. Caratteristiche meccaniche, termiche, chimiche, elettriche dei materiali ceramici. Correlazioni fra microstruttura e proprietà.

**Le materie prime ceramiche**

I silicati: silice, argille, feldspati. Le materie prime non silicatiche.

Caratterizzazione e qualificazione delle materie prime, con particolare riferimento ai ceramici tradizionali: composizione chimica e mineralogica, granulometria, caratteristiche reologiche, plasticità, colabilità, caratteristiche termiche, fusibilità, comportamento in cottura.

Gli impasti ceramici: composizione generale, funzioni, criteri di progettazione.

**La preparazione degli impasti ceramici**

Macinazione, omogeneizzazione, regolazione dell'umidità. Processi a secco e processi a umido: principi, impianti, parametri operativi, criteri generali di dimensionamento e di scelta. Aspetti tecnici, energetici, gestionali.

**La formatura**

Metodi di formatura: pressatura delle polveri, formatura in plastico, colaggio: principi, impianti, parametri operativi, criteri generali di dimensionamento e di scelta. Aspetti tecnici, energetici, gestionali.

**L'essiccamento**

Il sistema argilla acqua e l'essiccamento. Principi generali dell'essiccamento dei manufatti ceramici. Processi di essiccamento: impianti, parametri operativi, criteri generali di dimensionamento e di scelta. Aspetti tecnici, energetici e gestionali.

### *Gli smalti e la smaltatura*

Funzioni degli smalti. Tipi, composizioni, struttura degli smalti ceramici. Caratteristiche e durabilità dei sistema supporto/smalto. Tecniche di applicazione degli smalti e criteri generali di scelta.

### *La cottura*

Azione del calore sugli impasti ceramici tradizionali e sui rispettivi manufatti. Cottura del supporto e cottura dello smalto: bicottura e monocottura. Finalità e modalità della cottura ceramica. Tecnologie di cottura: impianti, parametri operativi, criteri generali di dimensionamento e di scelta. Aspetti tecnici, energetici e gestionali.

### *I prodotti ceramici tradizionali*

Prodotti ceramici per l'edilizia, per la casa, per l'industria.

Vengono trattati le seguenti classi di prodotti: laterizi, piastrelle, articoli sanitari, tubi, *leganti*, stoviglieria, ceramica artistica, refrattari, abrasivi, *porcellane per elettrotecnic*, discutendo per ognuna:

- classificazione
- cicli tecnologici di fabbricazione
- caratteristiche principali e rispettivi metodi di misura
- norme di riferimento e requisiti per le diverse caratteristiche
- correlazioni fra caratteristiche e prestazioni in esercizio
- criteri generali di scelta.

### *I prodotti ceramici per tecnologie avanzate.*

Classificazione funzionale. Ceramiche a base di ossidi, nitruri, carburi, boruri.

Le caratteristiche meccaniche dei ceramici strutturali. Meccanismi di rinforzo e tenacizzazione.

Compositi a matrice ceramica.

Principi e processi di sinterizzazione. Metodi convenzionali ed avanzati di ottenimento di polveri sinterizzabili.

### *I prodotti ceramici e l'ambiente*

Impatto ambientale dei processi ceramici: emissioni gassose ed idriche, fanghi e residui solidi, igiene dell'ambiente di lavoro. Stato attuale, legislazione e norme, prevenzione.

Impatto ambientale dei prodotti ceramici: cessione di sostanze tossiche all'ambiente.

### *Testi consigliati:*

AUTORI VARI, *Manuale dei Materiali per l'Ingegneria*, a cura di AIMAT, Mc-Graw-Hill Ed., Milano, 1996.

G. ALIPRANDI, *Principi di Ceramurgia e Tecnologia Ceramica*, Ed. EGIC, Genova, 1975.

T. EMILIANI, E. EMILIANI, *Tecnologia dei processi ceramici - Ceramurgia*, Ed., Faenza, 1982.

G. PECO, *I prodotti Ceramici. dalla tradizione all'alta tecnologia*, Marzorati Ed., Milano, 1991.

G. BUSANI, C. PALMONARI, G. TIMELLINI, *Piastrelle ceramiche & Ambiente*, Ed. EDI.CER, Sassuolo, 1995.

G. NASSETTI, F. FERRARI, A. FREGNI, G. MAESTRI, *Piastrelle ceramiche & Energia*, Ed. EDI.CER, Sassuolo, 1998.

*Pubblicazioni specifiche distribuite dal docente.*

*Esami.* L'esame consta di una prova orale.

**SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI ELETTRICI****BO, cds: E**Docente: **Antonio Motori**, prof. straordinario.

Il corso si propone di fornire una trattazione unitaria delle proprietà, degli impieghi e dei criteri di scelta dei materiali per l'ingegneria elettrica.

Classificazione dei materiali. Principali materiali metallici, ceramici, polimerici e composti impiegati nell'ingegneria elettrica. Proprietà generali e loro determinazione. Normativa.

Materiali monocristallini, policristallini e amorfi. Imperfezioni strutturali e proprietà dei materiali cristallini. Metalli e leghe metalliche. Ceramiche. Polimeri termoplastici e termoindurenti. Cristallinità, proprietà e applicazioni dei principali tecnopolimeri.

Microstruttura e proprietà dei materiali. Trasformazioni di equilibrio e non equilibrio: segregazione, inviluppo di fasi, nucleazione e accrescimento di nuove fasi. Esempi ed applicazioni: trattamenti termici, fusione e solidificazione, purificazione dei materiali, etc..

Cenno ai processi elementari di trasporto di materia nei solidi. Esempi e applicazioni: trattamenti termochimici degli acciai, drogaggio dei semiconduttori.

Proprietà elettriche dei materiali: conduttori, semiconduttori e isolanti.

Conduzione elettrica e conducibilità elettrica. Conduttori metallici. Regole di Matthiessen e di Nordheim. Principali materiali conduttori e loro proprietà. Semiconduttori intrinseci ed estrinseci. Drogaggio e meccanismi di conduzione. Materiali isolanti. Processi elementari di polarizzazione. Costante dielettrica complessa e processi di rilassamento dielettrico. Teoria di Debye. Principali materiali isolanti e loro proprietà. Prove e normativa. Tecniche per lo studio delle proprietà elettriche dei materiali isolanti.

Cenno alle proprietà magnetiche dei materiali. Cenno alla superconduzione.

Proprietà meccaniche dei materiali. Elasticità, plasticità, frattura. Principali prove meccaniche. Normativa.

Cenni alle tecnologie di fabbricazione e/o formatura dei materiali per l'ingegneria: fusione/stampaggio, gelificazione, sinterizzazione, lavorazioni meccaniche.

Effetti delle condizioni di servizio sulle proprietà e sulle prestazioni dei materiali elettrici isolanti: effetti meccanici, termici, elettrici, ambientali. Processi di invecchiamento dei materiali isolanti. Tecniche analitiche per lo studio del comportamento nel tempo e dell'affidabilità degli isolanti organici.

Il corso viene integrato da esercitazioni pratiche in laboratorio sulla determinazione sperimentale di proprietà chimico-fisiche, meccaniche ed elettriche.

Per l'approfondimento dei temi trattati si possono consultare i seguenti testi:

W.D. CALLISTER, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, J. Wiley & Sons, New York, 1999.

W. TILLAR SHUGG, *Handbook of Electrical and Electronic Insulating Materials*, IEEE Press, New York, 1995.

A.R. BLYTHE, *Electrical properties of polymers*, Cambridge University Press, Cambridge, 1980. Normativa (UNI, ISO, ASTM, etc.) sui materiali.

*Propedeuticità consigliate*: Chimica, Fisica.

L'esame consiste in un colloquio orale.

*Tesi di laurea:*

Proprietà chimico-fisiche, meccaniche ed elettriche di materiali isolanti.

Studio dei processi di invecchiamento di materiali isolanti per alte tensioni.

**SENSORI E TRASDUTTORI****BO, cds: T, E, L, I**

Docente: **Gaetano Pasini** prof. ass.

*Programma***1. I sensori**

La misurazione. Principali applicazioni dei sensori: misura e controllo. Impatto dei sensori nello sviluppo industriale.

**2. Caratteristiche metrologiche dei sensori**

Il ruolo del sensore. Il modello del sensore. La caratterizzazione del sensore. I regimi di funzionamento. Il funzionamento in regime stazionario. Il funzionamento in regime dinamico. Le condizioni operative. La vita. I criteri di scelta dei sensori.

**3. Principi di funzionamento dei sensori passivi**

Sensori resistitivi. Sensori capacitivi. Sensori induttivi. Sensori magnetici.

**4. Principi di funzionamento dei sensori attivi**

Effetti Peltier, Thomson, Seebeck. Effetto piezoelettrico. Effetto piroelettrico.

**5. Sensori e trasduttori per grandezze meccaniche**

Encoder, Resolver, Synchro. Sensori di prossimità ad induzione. Tachimetri capacitivi e ad impulsi elettromagnetici.

**6. Integrazione dei sensori nella strumentazione elettronica**

I trasduttori come elementi circuitali. Amplificazione e rumore. Richiami sui blocchi di condizionamento del segnale. Smart sensors.

**7. Applicazioni dei sensori**

Applicazioni generali. Meccaniche. Automobilistiche. Avioniche. Robotiche. Sensori negli FMS e nel controllo di qualità.

**8. Sistemi di acquisizione dati e CAT**

Diagnostica e CAT, ATE e BITE. Struttura, Interfacce standard RS-232, CAMAC, VXI, MXI. Strumenti virtuali.

**9. Sistema IEEE 488**

Caratteristiche principali. Controllo del flusso informativo. Programmazione delle periferiche. Programmazione del controller.

*Testi di riferimento:*

UNI, *Norma UNI 4546. Misure e misurazione.*

ASCH, *Les Capteurs en instrumentation industrielle*, Dunod, Paris, 1983.

PARATTE, P. ROBERT, *Systèmes de Mesure*, Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, 1986.

L. TRIETLEY, *Transducers in Mechanical and Electronic Design*, Marcel Dekker Inc., New York, 1986.

WOOLVET, *Transducers in Digital Systems*, Peter Peregrinus Ltd. London, 1988.

GOPEL, J. HESSE, J.N. ZEMEL, *Sensors*, VCH.

PETERNELLA, R. VITELLI, *Strumentazione industriale - Trasduttori e regolatori*, UTET, Torino, 1981.

ARRI, S. SARTORI, *Le misure di grandezze fisiche*, Paravia, Torino, 1984.

*Propedeuticità consigliate: Misure elettriche.*

## SERVIZI GENERALI DI IMPIANTO

BO, cds: G\_Bo, M

Docente: **Emilio Ferrari** prof. straord.

### Finalità del Corso

Il corso presenta i criteri generali per la scelta ed il dimensionamento dei più comuni impianti di servizio diffusi nei sistemi produttivi, integrando ed ampliando le conoscenze acquisite nel corso di Impianti meccanici, con particolare riferimento agli ambienti industriali. Gli argomenti sono presentati sia sotto l'aspetto tecnico-progettuale, attraverso la discussione dei metodi di progettazione, sia sotto l'aspetto tecnico-gestionale mediante l'indicazione delle norme e dei regolamenti vigenti.

### Programma del corso

Parte 1 – Generalità. Richiami di impiantistica meccanica: elementi ed accessori degli impianti per la distribuzione di fluidi ("piping").

Parte 2 – Impianti per la produzione e la distribuzione di energia

Richiami sugli impianti tradizionali di produzione combinata di energia elettrica e termica (centrali termoelettriche, centrali con motori a combustione interna, centrali turbogas). Progettazione e dimensionamento di impianti alternativi con pompe di calore ed impianti a pannelli solari. Confronto tecnico – economico e d esempi.

Parte 3 – Impianti elettrici industriali

Generalità. Calcolo della potenza necessaria. Cabina di trasformazione. Quadri. Linee di collegamento. Apparecchi utilizzatori. Fattore di potenza e rifasamento degli impianti. Rendimento degli impianti. Tariffe elettriche.

Parte 4 – Impianti per il benessere e la sicurezza negli ambienti di lavoro

Richiami e complementi sugli impianti di riscaldamento: tipologie e prestazioni. Calcolo potenzialità termica e relative disposizioni legislative.

Richiami e complementi sugli impianti di climatizzazione. Calcolo potenzialità frigorifera. Impianti per la produzione d'acqua refrigerata. Esempi.

Impianti di termoventilazione: dimensionamento dei canali d'aria e scelta dei ventilatori.

Protezione dai rumori. Propagazione del suono all'esterno e all'interno dei singoli ambienti. Valutazione dei rumori e normative. Principali sorgenti di rumore nell'industria. Attenuazione dei rumori. Esempi.

Protezione contro i pericoli elettrici, disposizioni legislative. Protezione negli impianti alimentati dalla rete a bassa tensione o da una propria cabina di trasformazione. Protezione nelle cabine di trasformazione. Progetto dell'impianto di terra. Disposizioni legislative.

Illuminazione. Emissione dell'energia radiante. Grandezze fotometriche ed illuminanti raccomandate. Riflessione, assorbimento e trasmissione della luce. Sorgenti luminose. Apparecchi illuminanti. Fondamenti tecnici d'illuminazione. Calcolo di progetto di impianti di illuminazione. Esempi.

**Esame:** scritto e orale

### Testi consigliati

- G. COLI, *Impianti energetici ad elevato rendimento*, Ed. PEG, Milano, 1992.  
 G. COLI, *Impianti per il benessere e la sicurezza dell'ambiente di lavoro*, Ed. PEG, Milano, 1990.  
 G. COLI, *Impianti per la distribuzione dell'energia elettrica negli edifici industriali e civili*, Ed. PEG, Milano, 1993.  
 Manuali UNI M11 Vol.1 e 2, 4°ed., Editrice UNI, 2000.  
 MONTE A., *Elementi di impianti industriali*. Ed. Libreria Cortina, Torino, 1982.  
 PARESCHI A., *Impianti industriali*. Progetto Leonardo. Bologna, 1994.  
 PIERFEDERICI O., *Impianti Meccanici*. Ed. Pitagora, Bologna, 1980.  
 PIZZETTI C., *Condizionamento dell'aria e refrigerazione*, Tamburini ed., Milano, 1970.

## SICUREZZA DEI SISTEMI DI PRODUZIONE

FO, cds: clm

Docente: Riccardo Manzini ric.

*Il corso intende introdurre l'allievo alla conoscenza e alla gestione delle problematiche relative alla sicurezza e all'igiene dei sistemi di produzione nel rispetto della normativa vigente e in un approccio sistemico e multidisciplinare. Il corso presenta modelli e metodi di supporto alla diagnostica, alla prevenzione e alla protezione dai rischi lavorativi, per garantire la sicurezza dei lavoratori, dei beni aziendali e dell'ambiente.*

### PROGRAMMA DEL CORSO

#### Fondamenti teorici di sicurezza degli impianti industriali

Rischio e cifra di rischio. Incidente. Analisi di rischio. Valutazione del rischio. Impianto industriale come generatore di rischio. Approccio sistemico al progetto di un sistema di sicurezza. Safety e security in un sistema di sicurezza. Struttura di un apparato di sicurezza.

#### Tutela della salute e sicurezza dei lavoratori durante il lavoro Dlgs 626 19/9/1994

Contesto di riferimento. Normativa di riferimento in merito alla salute e sicurezza del lavoratore. Il Dlgs 626 19/9/1994 e sue integrazioni: obiettivi, misure generali di tutela, i soggetti interessati, le figure, la valutazione dei rischi, gli adempimenti, le sanzioni. DPR 547 - 27/04/1955, DPR 303 - 19/03/1956, circolare 7/8/1995 n°102: cenni. Linee guida per la valutazione dei rischi.

#### Rischio rumore

Origini industriali del rumore. Trasmissione del rumore. Controllo del rumore. Sensibilità orecchio umano: curve isorumore. Distribuzione in frequenza. Combinazione livelli sonori. Apparato uditivo. Danni. Riferimenti normativi: DLgs. 277/1991. Misura del rumore. Prevenzione e protezione. Misure pratiche per il controllo del rumore: cenni.

#### Rischio vibrazioni

Vibrazioni: definizione, caratterizzazione e classificazione. Patologie. Trasmissione delle vibrazioni. Limiti d'esposizione.



## Microclima

Termoregolazione del corpo umano. Equazione di bilancio termico del corpo umano: descrizione dei singoli contributi e modelli analitici per la loro valorizzazione.

Microclima: sicurezza e benessere. Comfort termico. Discomfort localizzato. Microclima in ambienti severi (cenni). Cenni al ricambio d'aria.

## Il servizio elettrico negli Impianti Industriali (cenni). Rischio elettrico e sicurezza.

Effetti fisiopatologici connessi alla corrente elettrica. Impianti per la distribuzione dell'energia elettrica: sistema elettrico, classificazioni, schema generale; classificazione sistemi trifase in relazione al collegamento con l'alimentazione (TT, TN, TN-S...). Terreno come conduttore elettrico. La protezione negli impianti elettrici: tipologie. Protezione contro i contatti indiretti: contatti diretto ed indiretto, tipi di isolamento. Resistenza del corpo umano e sua resistenza di terra; circuiti elettrici equivalenti nei contatti indiretti. Masse estranee. Classificazioni sistema elettrico.

Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TT: configurazione di guasto e circuito elettrico equivalente. Dispositivi di protezione: caratteristica d'intervento e curva di sicurezza.

Cenni al progetto dell'impianto di terra. Cenni alla protezione da contatti diretti.

Protezione impianti elettrici da guasti intrinseci: sovracorrenti e cortocircuiti (cause e protezioni); interruttori automatici e fusibili (natura, norme e classificazioni).

Protezione rispetto all'ambiente.

## La direttiva macchine

La direttiva 89/392/CEE e successive modifiche. DPR 459/96.

## Rischi di incidenti rilevanti

Analisi dei guasti - fault tree: analisi qualitativa e quantitativa. Richiami di algebra booleana e teoria della probabilità. Teoria dell'affidabilità

Articolazione di un'analisi di rischio. Analisi modalità di guasto - FMEA; analisi Hazard Operability - HazOp; analisi mediante check list. Dlg n°334 del 17/08/1999 (Seveso bis.).

## Rischio incendio e Impianti Antincendio

Disposizioni legislative. Caratteristiche e classifica degli incendi. Prevenzione. Protezione attiva: segnalazione, estinzione e sistemi d'estinzione (estintori portatili ed impianti fissi).

## Rischio polveri e Impianti per l'aspirazione

Impianti di ventilazione (richiami e cenni). Aspirazione polveri: captazione delle polveri e progetto degli. Aspirazione fumi e vapori.

## Testi consigliati

Dispense consegnate durante il corso.

G. ALFANO, M. FILIPPI, E. SACCHI, *Impianti di Climatizzazione per l'edilizia. Dal progetto al collaudo*. Ed. Masson, Milano.

V. CARRESCIA, *Fondamenti di Sicurezza Elettrica nuova edizione*. Ed. TNE, Torino.

G. COLI, *Impianti per il Benessere e la Sicurezza negli ambienti di Lavoro*. Ed. PEG, Milano.

G. COLI, *Impianti per la distribuzione dell'energia elettrica negli edifici industriali e civili*. Ed. PEG, Milano.

L. FURLANETTO, *Manuale di manutenzione degli impianti industriali e servizi*. Ed. Il Mulino.

A. MONTE, *Elementi di Impianti Industriali vol. I e vol. II*. Ed. Libreria Cortina, Torino.

R. RIZZO, *La sicurezza degli impianti industriali*. Ed. Scientifiche Italiane, Napoli.

NUOVO COLOMBO. *Manuale dell'ingegnere*. Ed. Hoepli, Milano.

## **SICUREZZA DEL LAVORO E DIFESA AMBIENTALE L**

**BO, cds: R**

Docente: **Paolo Berry** prof. ord.

### **Presentazione del corso / Obiettivi generali del corso**

Il corso affronta i problemi di analisi e progettazione della sicurezza del lavoro e della protezione dell'ambiente esterno da disturbi ed interferenze negative nell'industria estrattiva e nell'ingegneria degli scavi, nei cantieri per la realizzazione di opere civili e per interventi di consolidamento. Il corso passa in rassegna le metodiche operative e le attrezzature utilizzate. Vengono analizzati, dal punto di vista tecnico e con riferimento alle normative, gli aspetti di identificazione dei pericoli ed analisi di rischio in ambiente di lavoro, prevenzione infortuni, valutazione e miglioramento delle condizioni igienico ambientali nei posti di lavoro, ed i problemi di rilevamento e controllo dei fenomeni di disturbo.

### **Programma**

– La sicurezza del lavoro: definizione del problema con specifico riferimento alle unità estrattive ed ai cantieri di scavo. – Criteri di identificazione dei pericoli e degli impatti ambientali. – Aspetti normativi in materia di sicurezza del lavoro e qualità ambientale: analisi e criteri di corretta applicazione dei supporti normativi nazionali, delle direttive comunitarie e delle principali norme e raccomandazioni straniere. Organismi di controllo. – Infortuni sul lavoro: dati relativi al comparto. – Problemi di igiene ambientale: aspetti particolari della questione per le unità estrattive per i cantieri di scavo; rischio di danno o disturbo verso l'esterno: Principi di rilevamento e riduzione di inquinanti in ambiente di lavoro (microclima, rumore, vibrazioni, polveri e gas). – Principi di rilevamento e riduzione di emissioni ed immissioni.

### **Laboratori e/o esercitazioni**

Sono previste esercitazioni fuori sede presso unità produttive e cantieri, per una visione diretta delle soluzioni impiantistiche discusse.

### **Bibliografia**

Appunti del docente e testi reperibili presso la biblioteca DICMA che saranno segnalati per le parti richiamate nelle lezioni.

**SICUREZZA E ANALISI DI RISCHIO**

BO, cds: G\_BO, N

Docente: Carlo Maria Orlandelli prof. ass.

Scopo dell'Insegnamento è quello di fornire gli strumenti per effettuare l'analisi dei criteri e dei parametri che permettano di ottenere una corretta valutazione del livello di sicurezza di un sistema complesso. In tale ambito si analizzano, le procedure di sicurezza adottate nei grossi impianti finalizzati alla produzione di energia elettrica sia impianti provati sia prototipi.

Vengono, poi, affrontate le problematiche legate ad una corretta impostazione dell'analisi probabilistica dei sistemi deputati alla sicurezza.

**Programma**

1. *Introduzione al concetto di rischio*: accettabilità del rischio, analisi costi-benefici, rischio riferito alle diverse possibili situazioni operative.

2. *Possibili catene incidentali tipiche in impianti complessi*: impianti nucleari provati ed impianti della nuova generazione, impianti tradizionali; normativa di riferimento per le diverse categorie di impianti.

3. *Metodologie generali di prevenzione e di contenimento delle conseguenze di transitori incidentali*: introduzione al concetto di affidabilità, affidabilità di sistemi, introduzione al concetto di disponibilità, sistemi con componenti ripristinalibili, alberi di guasto, alberi delle decisioni, quantificazione e valutazione dell'errore umano; esempi ed applicazioni.

4. *Analisi delle conseguenze di catene incidentali*: esplosioni in volumi confinati; metodi per la prevenzione, il contenimento e la mitigazione delle conseguenze ed eventuali rilasci.

5. *Le emergenze*: il rilascio di effluenti gassosi, problematiche di evacuazione, gestione delle emergenze.

**Testi consigliati:**

Per l'elenco dei testi rivolgersi all'Istituto di Fisica Tecnica.

**SISTEMI D'ANTENNA LS**

BO, cds: L, I, T

Docente: Vittorio Rizzoli prof. ord.

**Obiettivo formativo dell'insegnamento:**

Il corso si propone di sviluppare una solida conoscenza di carattere scientifico-metodologico dei principi di funzionamento e delle tecniche di analisi e di progetto dei principali sistemi d'antenna utilizzati nei moderni sistemi di telecomunicazione.

**Programma del corso:**

Richiami sulla propagazione elettromagnetica nello spazio libero. Centro di fase di un'antenna. Rumore termico e temperatura equivalente di rumore di un'antenna. Progetto di massima di una tratta radio. Fondamenti dell'elettromagnetismo computazionale. Metodo dei momenti. Problemi di scattering. Potenza ricevuta e potenza reirradiata da un'antenna. Sezione radar monostatica e bistatica e suo calcolo numerico. Equazione del radar. Sezione radar di ostacoli puntiformi. Polarizzazione del campo diffuso.

Dipoli elettromagnetici. Calcolo delle grandezze caratteristiche nell'ipotesi di distribuzione di corrente nota. Dipolo a mezz'onda. Rendimento. Teorema delle immagini e realizzazione di

dipoli tramite monopoli. Equazione integrale di Pocklington per la distribuzione di corrente e sua risoluzione con il metodo dei momenti. Impedenza di ingresso e banda utile di un dipolo.

Antenne composite. Fattore complesso di composizione e campo a grande distanza. Schiere lineari a radiazione trasversale e assiale. Schiere bidimensionali. Scansione elettronica delle schiere. Sintesi delle schiere. Schiere di dipoli. Accoppiamento tra elementi ed elementi parassiti. Calcolo delle distribuzioni di corrente con il metodo dei momenti. Calcolo delle correnti di alimentazione. Antenne Yagi-Uda.

Antenne ad apertura. Radiazione da una apertura in condizioni generali. Calcolo delle grandezze caratteristiche nell'ipotesi di apertura illuminata da un'onda piana. Efficienza d'apertura. Apertura elementare e sorgente di Huygens. Principio di Huygens-Fresnel. Diffrazione elettromagnetica. Apertura circolare. Antenne paraboliche. Illuminazione diretta e illuminazione tramite subriflettore. Calcolo del campo sull'apertura. Efficienza di spillover e efficienza di illuminazione. Ottimizzazione della polarizzazione e progetto dell'illuminatore primario. Illuminatori a tromba.

Antenne integrate a microstriscia. Antenna rettangolare: analisi approssimata tramite un modello intuitivo. Analisi numerica rigorosa di antenne di forma qualunque tramite il metodo dei momenti. Calcolo dell'impedenza di ingresso. Antenne integrate interne per ricetrasmittitori mobili. Schiere di antenne a microstriscia. Schiere a riflessione.

#### Testi consigliati:

V. RIZZOLI, *Lezioni di Campi Elettromagnetici*. Esculapio-Progetto Leonardo, 1998.

L. STUTZMAN e G. A. THIELE, *Antenna Theory and Design*. John Wiley & Sons, 1998.

## SISTEMI DI CONTROLLO DI GESTIONE

BO, Cds: G\_BO

Docente: **Raffaele Oriani** prof. Inc.

### Obiettivo del corso

Fornire le conoscenze necessarie a comprendere il flusso delle informazioni di natura economico-finanziaria all'interno dell'impresa e illustrare i principi, le regole e le prassi che presidono alla rilevazione dei dati, alle loro aggregazioni e articolazioni, al loro impiego ai fini interni (prendere decisioni) ed esterni (redigere il bilancio)

Fornire le conoscenze necessarie a comprendere e progettare sistemi di: 1. Determinazione e gestione dei costi; 2. Contabilità per la direzione.

### Struttura e contenuti del corso

#### A) Quadro di riferimento

- a. Il ruolo delle informazioni per le decisioni e la gestione delle imprese.
- b. Introduzione al problema del controllo delle prestazioni e dei risultati economici delle imprese.

#### B) Il Bilancio come strumento di analisi per la gestione aziendale

- a. I concetti fondamentali e lo Stato Patrimoniale
- b. I sistemi contabili e le modalità di contabilizzazione
- c. I ricavi e le attività monetarie
- d. Il conto economico e la misurazione dei costi di competenza
- e. Le rimanenze

- f. Le attività a lungo termine e l'ammortamento
- g. Le passività e il capitale netto
- h. L'analisi finanziaria e i principali indici di bilancio
- i. Il bilancio civilistico

### C) I sistemi di determinazione e gestione dei costi

- a. La determinazione dei costi per le decisioni
  - La classificazione dei costi
  - Il comportamento e la dinamica dei costi: costi flessibili (variabili) e costi che rendono disponibile la capacità produttiva (fissi)
  - Il margine di contribuzione, il punto di pareggio e il prodotto equivalente
  - Il costo pieno
  - I sistemi di determinazione dei costi basati sulle attività: l'Activity Based Costing
- b. Decisioni a breve termine tra diverse alternative.
  - Il concetto di differenziale: costi e ricavi differenziali
  - Configurazioni di costo per diversi problemi decisionali
  - I problemi tipici di scelta fra più alternative: solo costi, costi e ricavi differenziali
  - Problemi di scelta fra alternative: le fasi dell'analisi
  - La stima dei costi futuri e dei costi sommersi
  - Analisi di sensibilità e alberi delle decisioni
- c. La determinazione dei costi per il controllo
  - Costi standard
  - Analisi degli scostamenti
  - I sistemi di controllo
  - Pianificazione strategica e budget

R.N. ANTHONY, D.M. MACRÌ, L.K. PEARLMAN, *Il Bilancio. Strumento di analisi per la gestione* (2° edizione), McGraw-Hill, Milano 2000. (escluso cap. 10)

R.N. ANTHONY, D.F. HAWKINS, D.M. MACRÌ, K.A. MERCHANT, *Sistemi di controllo di gestione: analisi economiche per le decisioni aziendali*, McGraw-Hill, Milano 2001. (capp. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 16)

Articoli ed altro materiale didattico saranno indicati e/o resi disponibili a cura del docente durante il corso.

## SISTEMI DI PROPULSIONE AVANZATI

FO, cds: cla

Docente: **Fabrizio Ponti** ric.

### PROGRAMMA

#### Introduzione ai sistemi di propulsione.

Prestazioni statiche di razzi e veicoli spaziali; definizione di spinta e resistenza.

Equazione del moto di un razzo; variabili di stato e di controllo; vincoli sulla traiettoria. Perdite gravitazionali e per resistenza atmosferica.

Prestazioni del razzo monostadio; razzo polistadio. Prestazioni degli endoreattori chimici a propellenti solidi, liquidi e ibridi.

Sistemi propulsivi con generazione di potenza elettrica: impulso specifico ottimale.

Definizione delle richieste propulsive per l'effettuazione di missioni spaziali.

**Endoreattori di tipo chimico:**

Generatore di spinta negli endoreattori di tipo chimico: ugello propulsivo. Coefficiente di spinta. Ugelli convenzionali convergenti-divergenti. Comportamento in condizioni di sotto e sovraespansione. Ugello conico, ugello a campana. Ugelli non convenzionali: plug nozzle, aerospikes. Effetti dell'attrito e della contropressione.

Processo di combustione: combustione subsonica. Influenza delle condizioni iniziali del propellente. Calcolo della temperatura di combustione in condizioni di equilibrio chimico. Efflusso di miscele reagenti.

Camere di combustione per propellenti liquidi: iniezione di combustibile e comburente, lunghezza della camera di combustione, dimensionamento dell'area trasversale della camera di combustione.

Propellenti solidi: velocità di combustione, flussi bifase. Camere di combustione per propellenti solidi: pressione di combustione, stabilità della combustione, combustione erosiva.

Meccanismi di trasmissione del calore. Descrizione dei sistemi di protezione delle pareti con materiali refrattari, materiali ablanti, film cooling, traspirazione. Sistema di raffreddamento rigenerativo.

**Endoreattori di tipo termico:**

Razzo a riscaldamento nucleare: limiti di funzionamento;

Razzo a resistenza elettrica: schema, scelta del propellente, limiti di funzionamento;

Razzo ad arco: schema, scelta del propellente, problemi di stabilizzazione dell'arco, consumo degli elettrodi, inquinamento del getto, perdite frozen.

**Endoreattori di tipo elettrico:**

Razzo a ioni: schema, produzione di ioni, acceleratore, neutralizzazione del fascio di ioni, rapporto di forma, scelta del propellente;

Razzo MPD: schema, prestazioni, limitazioni

**MODALITÀ D'ESAME**

L'esame consiste in un colloquio orale sugli argomenti del corso.

**Testi di riferimento**

SUTTON, *Rocket Propulsion*, John Wiley & Sons, New York.

HILL & PETERSON, *Mechanics and Thermodynamics of Propulsion*, Addison-Wesley Publishing Company, New York.

JAHN, *Physics of electric propulsion*, McGraw Hill, New York.

STUHLINGER, *Ion propulsion for space flight*, McGraw Hill, New York.

**SISTEMI DI GUIDA E NAVIGAZIONE AEROSPAZIALI****FO, cds:cla**

Docente: **Matteo Zanzi**, ric.

**Finalità**

Il corso affronta lo studio dell'architettura funzionale di un moderno sistema di Navigazione, Guida e Controllo (NGC); inoltre si propone di fornire gli strumenti concettuali per affrontare l'analisi di valutazione delle prestazioni e del soddisfacimento dei requisiti di aeronavigabilità, in riferimento alla conduzione del volo nell'ambito dell'aviazione civile, nelle diverse fasi e condizioni di volo. La trattazione è basata sull'analisi dei requisiti operativi (Required Navigation Performance, RNP), in termini di precisione, integrità, continuità e disponibilità, emessi recentemen-

te dall'ICAO allo scopo di regolamentare i sistemi di condotta del volo basati sulle nuove tecnologie. In particolare, si analizzeranno le prestazioni di un sistema di navigazione basato sul sistema satellitare GPS aiutato da informazioni inerziali, dati aria e da correzioni differenziali. Questi informazioni hanno caratteristiche complementari che ne giustificano l'integrazione e l'utilizzo congiunto. Al termine si esaminerà il sistema NGC di un moderno velivolo civile rappresentativo.

## **Programma**

### ***La navigazione - introduzione ed obiettivo del corso***

Definizione di navigazione. Sistemi di Navigazione, Guida e Controllo (NGC): definizioni, schema funzionale generale. Richiami dei concetti di Air Traffic Management (ATM) nell'ambito del Communication, Navigation and Surveillance (CNS). I sistemi inerziali, i sistemi satellitari. Esempi di modelli semplificati di equazioni di navigazione. Modello degli errori.

### ***Required Navigation Performance e integrità***

Required Navigation Performance (RNP) e le fasi di volo. Due fasi rappresentative: rotta ed avvicinamento in Cat. I e II.

Metodologie di soddisfacimento degli RNP, algoritmi di integrità, RAIM.

### ***Sistemi di Guida***

Architettura di un sistema di guida di un velivolo. Il direttore di volo. La guida proporzionale. Guida per archi di traiettoria. Guida per waypoint. Algoritmi.

### ***Sistemi di riferimento***

Vari sistemi di riferimento usati in navigazione: sistemi inerziali, ECEF, sistema geodetico, sistema di navigazione, sistema assi corpo. Vettori, trasformazioni di coordinate. Rotazioni. Assetto e sua parametrizzazione: angoli di Eulero, quaternioni. Derivate in sistemi di riferimento rotanti. Equazioni di propagazione degli angoli di Eulero e dei quaternioni.

## **Il GPS**

Descrizione generale del sistema. Modello matematico di funzionamento. Analisi degli errori del GPS (disturbi atmosferici, rumore del ricevitore, bias del clock, multipath, ecc.). Modello degli errori di pseudodistanza. Misure di fase. GPS differenziale. Esempi di applicazioni.

### ***La navigazione inerziale***

Richiami sugli accelerometri e giroscopi. Equazioni cinematiche per la posizione, la velocità, l'assetto. Modello matematico del funzionamento di un INS. Modello degli errori di un INS. Modello aumentato degli errori. Modelli degli errori per canale singolo. Oscillazione di Schuler. Inizializzazione.

### ***Integrazione e filtraggio applicati ai sistemi di navigazione***

Filtro di Kalman per un ricevitore GPS. Integrazione GPS/INS di tipo lasco. Integrazione di tipo stretto. Carrier-smoothed code. Analisi delle prestazioni di un sistema integrato.

**SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI LA** CE, cds: dut

Docente: Carlo Caini ric.

**Finalità**

Il corso si pone come naturale proseguimento dei corsi di Comunicazioni Elettriche I e II, con particolare riferimento alla trasmissione di segnali digitali ed alla codifica digitale di segnali analogici. Obiettivo complementare, ma non secondario, è lo sviluppo dell'autonomia degli studenti nello studio della materia e nella consultazione della letteratura scientifica.

**Programma****Richiami e complementi sulla teoria della modulazione**

Richiami sulle modulazioni AM, PM, FM, DSB-SC, QAM.

Inviluppi complessi e funzioni di trasferimento equivalente passa basso.

**Elementi di teoria della decisione statistica e ricevitori ottimi in AWGN**

Ricevitori MAP e ML nel caso binario: il filtro adattato

Rappresentazione vettoriale dei segnali su basi ortonormali: procedura di Gram Schmidt.

Ricevitori ML nel caso di M segnali: interpretazione geometrica (ricevitori a minima distanza).

**Modulazioni numeriche**

Caratteristiche e calcolo delle probabilità d'errore dei segnali L-ASK, M-QAM, M-PSK, M-FSK in presenza di AWGN, con ricevitore ML coerente.

Confronto fra i vari sistemi di modulazione numerica in termini di rapporto segnale rumore ed efficienza spettrale.

**Rappresentazione digitale dei segnali analogici (svolta dall'Ing. Alessandro Vanelli Coralli)**

Elementi di teoria dell'informazione: entropia di una sorgente e codifica di Huffman.

Codifica PCM con quantizzazione lineare e logaritmica.

Tecniche di compressione: codifica ADPCM, vettoriale, per trasformate. Cenni sui Vocoder.

Principi della codifica MPEG audio e video e relativi standard.

Confronto delle varie tecniche con esempi di ascolto di brani vocali e musicali.

**Testi consigliati**

Appunti tratti dalle lezioni

C. CAINI, *Comunicazioni Elettriche e Segnali Audio*, Esculapio.B. SKLAR, *Digital Communications*, Prentice Hall.S. BENEDETTO, E. BIGLIERI, V. CASTELLANI, *Digital Transmission Theory*.**SISTEMI DIGITALI LS**

Docente: Eugenio Faldella prof. ord.

BO, cds: I

**Finalità del corso:**

Il corso è finalizzato alla presentazione dei principi, delle metodologie e degli strumenti fondamentali per la progettazione dal punto di vista logico dei sistemi digitali per l'elaborazione dell'informazione.



**Programma:**

*Generalità e nozioni introduttive* – Macchine e processi di elaborazione. La gerarchia dei livelli di descrizione. Obiettivi e metodi dei procedimenti di analisi e di sintesi dei sistemi digitali. Modelli di riferimento per lo studio dei sistemi digitali. Strumenti per la descrizione formale del comportamento e della struttura dei sistemi digitali. Componenti digitali integrati: tipologie (componenti mono- e multi-funzionali, componenti universali), struttura e cenni alle caratteristiche tecnologiche. Impatto dell'evoluzione architetture dei componenti MSI, LSI, VLSI sulle metodologie di progetto di sistemi digitali combinatori e sequenziali. Introduzione ai linguaggi per la descrizione del hardware: RTL e VHDL.

*Moderne metodologie di progetto* – Il principio di scomposizione di sistemi digitali complessi in sottosistemi funzionali interagenti. Definizione dei servizi, delle interfacce, dei protocolli di comunicazione tra sottosistemi. L'approccio progettuale "data path" e "control unit". Grafi dei dati e del controllo per la definizione formale delle specifiche di progetto. Il problema dello scheduling: "time constrained scheduling" e "resource-constrained scheduling". Allocazione delle risorse e progetto del data path. Sintesi dell'unità di controllo mediante "algorithmic state machines".

**Organizzazione del corso ed esami:**

Il corso prevede, oltre alle lezioni ed esercitazioni in aula, esercitazioni guidate e libere in laboratorio. L'esame consiste in una prova scritta obbligatoria ed in una eventuale prova orale a carattere integrativo.

**Testi consigliati:**

- R. LASCHI, *Reti Logiche*, Esculapio, 1995.  
 F. FUMMI, M. G. SAMI e C. SILVANO, *Progettazione digitale*, McGraw-Hill, 2002.  
 D. GAJSKI, N. DUTT, A. WU e S. LIN, *High-Level Synthesis: Introduction to Chip and System Design*, Kluwer Academic Press, 1992.  
 G. DE MICHELI, *Synthesis and Optimization of Digital Circuits*, McGraw-Hill, 1994.

**SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI LB**

CE, cds: dut

Docente: **Davide Dardari** ric.**Finalità**

In questo secondo modulo di Sistemi di Telecomunicazioni vengono forniti i criteri di progetto dei sistemi di trasmissione digitali di tipo passa-banda, con particolare enfasi alle problematiche introdotte dalle non idealità presenti inevitabilmente nel sistema. Successivamente, le metodologie introdotte sono applicate all'analisi di alcuni sistemi significativi quali, ad esempio, quelli per la diffusione televisiva digitale via satellite ed i sistemi radiomobili.

**Complementi sugli schemi di modulazione numerica su canale AWGN**

Richiamo sulle tecniche M-QAM, L-PSK; schemi DPSK, CPM, MSK, GMSK. Confronti: efficienza spettrale, compromesso banda-potenza.

**Trasmissione su canale a banda limitata**

Distorsione introdotta dal canale. Interferenza intersimbolo. Criteri di progetto dei filtri.

**Codifica di canale**

Codici a blocco, codifica convoluzionale

**Caratterizzazione della tratta radio: dimensionamento di radio-collegamenti**

Propagazione anomala: fading piatto e selettivo. Cenni sull'equalizzazione adattativa.

Attenuazione supplementare. Dimensionamento di radio-collegamenti punto-punto.

**Effetti non lineari**

Rumore di intermodulazione. Effetti sulle prestazioni.

**Sincronizzazione**

Circuiti di recupero della portante e del sincronismo di simbolo.

Circuiti ad aggancio di fase (PLL). Progetto

**Sistemi di diffusione televisiva digitale via satellite**

Il segnale video, codifica MPEG-2, specifiche di qualità. Sottosistema a radiofrequenza

Lo standard DVB-S digitale: caratteristiche e dimensionamento.

**Elementi di sistemi radiomobili**

Il principio della rete cellulare. Riutilizzo delle frequenze: interferenza co-canale.

Fenomeni di propagazione anomala nelle reti radiomobili. La struttura della rete GSM.

**Bibliografia consigliata**

*Appunti di Sistemi di Telecomunicazione: sistemi di trasmissione digitali in banda base*, tratti dalle lezioni del Prof. O:Andrisano. Esculapio Bologna.

*Appunti di Sistemi di Telecomunicazione: sistemi di trasmissione digitali passa-banda*, tratti dalle lezioni del Prof. O:Andrisano. Esculapio Bologna.

ORESTE ANDRISANO, DAVIDE DARDARI, *Appunti di Sistemi di Telecomunicazione: elementi di progetto di sistemi radiomobili*, Esculapio, Bologna.

Appunti integrativi a cura del docente.

**SISTEMI DI TRAZIONE**

BO, cds: C, M

Docente: Alfonso Micucci ric.

L'Insegnamento si propone di approfondire, soprattutto sul piano progettuale, i problemi relativi ai vari tipi di trazione, elettrica e termica, già trattati in generale nell'insegnamento di Progettazione di sistemi di trasporto, per quanto riguarda sia i mezzi di trazione sia gli impianti fissi. L'insegnamento viene integrato da esercitazioni svolte in aula.

**Generalità.** Sviluppo della trazione elettrica e termica. Sistemi di trazione attualmente impiegati per impianti ferroviari, metropolitane, tram, filobus ed autobus. Caratteristiche dei veicoli. Confronto tra i vari sistemi sul piano tecnico ed economico.

**Meccanica della locomozione.** Cenni e richiami su: aderenza, resistenze al moto, diagramma di trazione e caratteristica meccanica di un mezzo di trazione.

**Trazione elettrica.** Motori a corrente continua ed a corrente alternata a collettore. Motori a corrente ondulata. Motori sincroni ed asincroni. Motori lineari. Principi di funzionamento del

chopper e dell'inverter. Regolazione classica e moderna (elettronica) dei vari tipi di motori. Frenatura elettrica.

*Impianti fissi per la trazione elettrica.* Linea primaria di distribuzione. Sottostazioni di alimentazione e di conversione. Linee di contatto: problemi elettrici e meccanici nella trasmissione e nella captazione della corrente.

*Trazione termica.* Cenni sulla trazione a vapore. Trazione Diesel: caratteristiche costruttive e funzionali dei motori e delle trasmissioni. Trazione Diesel-elettrica.

*Veicolo elettrico ad accumulatori.* Schemi di trazione e di frenatura. Caratteristiche degli accumulatori. Il problema dell'autonomia.

*Testi consigliati:*

A. ORLANDI, *Meccanica dei Trasporti*, Ed. Pitagora, Bologna.

F. PERTICAROLI, *Trazione Elettrica*, Ed. CLUP, Milano.

Appunti delle lezioni forniti dal docente.

*Esami:* orali, con presentazione e discussione delle esercitazioni svolte.

*Tesi di laurea:* studi e progetti relativi a sistemi di trazione stradale e ferroviaria.

## SISTEMI ELETTRICI PER L'ENERGIA

BO, cds: E

Docente: Carlo Alberto Nucci prof. straordinario.

Il corso si propone di fornire gli elementi alla base della progettazione, pianificazione e gestione dei sistemi elettrici di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica. Esso lascia al corso di Impianti di produzione dell'energia elettrica il compito di fornire gli analoghi elementi per le centrali elettriche nonché l'approfondimento degli argomenti strettamente in comune ai due corsi.

### Programma

*Linee elettriche.* Caratteristiche costruttive delle linee aeree: conduttori a fascio; sostegni; funi di guardia. I parametri primari e secondari per unità di lunghezza: resistenza, induttanza di servizio, capacità di servizio, conduttanza. Linee in cavo: cenni ai tipi di cavo più impiegati. Le teorie delle linee elettriche in regime permanente: lo schema elettrico a parametri distribuiti; integrazione delle equazioni delle linee; onda diretta e onda riflessa; impedenza caratteristica e impedenza d'onda; costanti di attenuazione, di propagazione e di fase; velocità di propagazione; lunghezza d'onda; linee "quarto d'onda" e linee "mezz'onda"; potenza caratteristica e naturale. Effetto Ferranti. Calcolo elettrico delle grandi linee. La linea considerata come doppio bipolo; diagramma vettoriale della linea di Baum e Perrine; cenni ai diagrammi circolari delle potenze.

*Studio dei flussi di potenza nelle reti (Load flow).* Analisi nodale della rete. Determinazione dei coefficienti della matrice delle ammettenze di rete e loro aggiornamento in seguito a cambiamento della configurazione di rete. Impostazione del problema del calcolo della ripartizione dei flussi di potenza. Risoluzione del problema: i metodi alla Gauss-Seidel ed alla Newton-Raphson. Le approssimazioni dei metodi di soluzione: l'approssimazione in corrente continua, di Carpentier e di Stott. Le curve delle prestazioni limite dei generatori sincroni trifase per macchine isotrope lineari. Dispacciamento economico.

*Lo stato del neutro nelle reti trifasi.* Reti a media tensione con neutro isolato e con neutro a terra (attraverso resistenza o bobina di Petersen). Reti ad alta tensione. Fattore di guasto a terra.

*Stabilità del parallelo.* Stabilità di macchina sincrona collegata a motore sincrono e a rete di potenza infinita. Concetto di stabilità 'statica' e di stabilità transitoria. Equazioni del moto. Criterio delle aree. Applicazione del criterio delle aree ad alcuni casi notevoli (Guasto trifase seguito da apertura permanente o da richiusura riuscita per linee a doppia terna, a semplice terna, ...). Calcolo dell'angolo di spostamento del rotore. Calcolo ed analisi delle piccole oscillazioni di una macchina sincrona collegata a rete di potenza infinita. Concetto di stabilità dinamica.

*Calcolo delle correnti di cortocircuito.* Il cortocircuito e le conseguenze negli impianti. I regimi transitori (aperiodici) di c.c.. Richiamo sui circuiti equivalenti di sequenza degli elementi costituenti i sistemi elettrici (generatori, trasformatori, linee). Metodologie di calcolo delle correnti di c.c. in regime permanente in reti complesse per vari tipi di c.c. (trifasi, monofasi a terra, tra due fasi tra due fasi e terra).

*Le protezioni delle linee e dei trasformatori.* Requisiti di un sistema di protezione. Classificazione e tipi di relé. Protezioni delle linee: protezioni distanziometriche; protezioni con relé direzionali. Protezioni dei trasformatori: protezione differenziale; relé Bucholz; protezioni di terra; protezioni contro i guasti esterni. Protezioni delle sbarre. Protezioni contro i sovraccarichi (cenni).

*Regolazione della tensione.* Regolazione della tensione nelle reti di trasporto e di distribuzione primaria e secondaria. Rifasamento e controllo dei flussi di potenza reattiva. Trasformatori a rapporto di trasformazione variabile. Il collasso della tensione.

*Regolazione della frequenza.* Comportamento tipico di un regolatore di velocità di gruppo idroelettrico. La regolazione della frequenza primaria in un sistema "generatore con carichi". La regolazione della frequenza secondaria nel sistema "generatore con carichi". La regolazione della frequenza in un sistema con più generatori e la ripartizione del carico attivo tra le centrali di una rete. Regolazione frequenza-potenza per reti interconnesse.

*Coordinamento dell'isolamento.* Approccio probabilistico al problema. Il ruolo delle sovratensioni di origine atmosferica. Cennio alla fenomenologia della fulminazione; i sistemi di rilevamento fulmini; protezione delle linee di trasmissione da fulminazione diretta ('shielding failure' e 'back-flashover'); funi di guardia e loro ruolo nella protezione delle linee aeree; protezione delle linee di distribuzione dalle fulminazioni indirette; strutture tipiche e funzionamento degli scaricatori.

*I transitori elettromagnetici nei sistemi di potenza.* Onde viaggianti su linee prive di perdite; coefficienti di riflessione e trasmissione; linea con terminazione non puramente resistiva; generatore equivalente; riflessioni multiple in una linea priva di perdite di lunghezza finita. Propagazione su linee con perdite; impedenza del suolo; formula di Carson. Il metodo di Bergeron; il codice di calcolo Electro Magnetic Transient Program (EMTP). Applicazione allo studio della protezione delle linee elettriche dalle fulminazioni.

*Impiego della corrente continua.* Casi in cui può convenire la utilizzazione di linee in corrente continua, per il trasporto di energia su grandi distanze, per collegamenti sottomarini e per scambi di energia tra grandi reti (back-to-back) come nel caso del collegamento tra le reti dell'Europa occidentale e orientale.

Il corso è integrato con alcuni cenni ai costi degli impianti e ai problemi di convenienza economica. Viene anche svolta una breve trattazione dei sistemi di telecomunicazione tipici dei sistemi elettrici per l'energia, con riferimento in particolare ai collegamenti a mezzo di ponti radio e di onde convogliate.

Esso comprende esercitazioni sia in aula (calcolo delle correnti di corto circuito, calcolo della stabilità di trasmissione) sia al calcolatore (calcolo del load-flow di reti ad alta tensione, calcolo

dei transistori elettromagnetici delle linee) ed è di regola completato da una visita ad una grande sottostazione dell'ENEL, di cui in precedenza viene illustrato in dettaglio lo schema.

Per l'ammissione all'esame occorre avere svolto le esercitazioni al calcolatore in laboratorio.

L'esame consiste di una prova scritta, superata la quale è possibile accedere alla prova orale.

#### Testi consigliati:

- R. MARIN, M. VALTORTA, *Trasmissione ed interconnessione*, V Ed., Cedam, Padova, 1973.  
 D. ZANOBETTI, M. PEZZI, *Lezioni di impianti elettrici*, CLUEB, Bologna, 1981.  
 F. ILCETO, *Impianti elettrici*, Pàtron, 1981.  
 R. MARCONATO, *Sistemi elettrici di potenza*, 2 voll. CLUP, Milano, 1985.  
 A. PAOLUCCI, *Lezioni di trasmissione dell'energia elettrica*, Cleup, Padova, 1990.  
 G. MALAMAN, A. GIORGI, M. CALZATI, *Teletrasmissioni al servizio delle reti elettriche di energia*, Pitagora editrice, Bologna, 1988.

#### Testi di consultazione:

- STAGG, EL-ABIAD, "Computer methods in power system analysis", McGraw-Hill, 1968.  
 N. FALETTI, P. CHIZZOLINI, *Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica*, 2 voll. Pàtron, 1987.  
 O.I. ELGERD, *Electric energy systems theory*, McGraw-Hill, 1982.  
 V. CATALIOTTI, *Impianti elettrici*, 3 Voll. Flaccovio, Palermo, 1988.  
 A. GREENWOOD, *Electrical transients in Power systems*, John Wiley & Sons, 1991.  
 F. SACCOMANNO, *Sistemi elettrici per l'energia: Analisi e controllo*, Utet, Torino, 1992.  
 J.J. GRAINGER, W.D. STEVENSON, "Power system analysis", McGraw-Hill 1994.  
 P. KUNDUR, "Power system stability and control", McGraw-Hill 1994.  
 S.H. HOROWIZ, A.G. PHADKE, *Power System Relaying*, John Wiley & Sons, 1995.  
 J. MACHOWSKI, J.W. BIALEK, J.R. BUMBY, "Power System Dynamics and Stability", John Wiley & Sons, 1997.

Sono inoltre disponibili dispense tratte da alcune lezioni del docente, al sito 'Internet' [www.ing.unibo.it/nucci](http://www.ing.unibo.it/nucci).

## SISTEMI ENERGETICI L

FO, cds: dum, clm

Docente: **Davide Moro** prof. straord.

Il corso si propone di fornire agli allievi ingegneri meccanici gli strumenti di base necessari per l'analisi termodinamica dei principali sistemi energetici semplici e complessi.

La prima parte del corso richiama i principi fondamentali della termodinamica e in particolare l'equazione del moto dei fluidi sia in forma termica che meccanica, il ciclo di Carnot, i diagrammi termodinamici per l'aria e per il vapore e il dimensionamento degli scambiatori di calore a superficie (metodi  $\Delta T$  medio logaritmico e NTU). Si introducono le considerazioni di base sulle caratteristiche dei combustibili, il potere calorifico superiore ed inferiore, la massa d'aria stechiometrica, l'eccesso d'aria, le emissioni inquinanti e il loro abbattimento.

Quindi si passa in rassegna ai principali sistemi energetici sia motori che inversi.

**Sistemi energetici a vapore:** si descrivono i componenti del ciclo a vapore di Hirn e la de-

terminazione dei flussi energetici. Considerazioni sul generatore di vapore, rendimento, carico termico e determinazione della temperatura di combustione. Diagramma di scambio termico nel generatore ad irraggiamento, la temperatura di rugiada. Limiti sulle temperature massime ammissibili in un impianto a vapore. Il condensatore di vapore, bilanci energetici e suo dimensionamento. Cenni sulle trasformazioni nella turbina a vapore e definizione del rendimento interno. Definizione del rendimento dell'impianto a vapore e del rendimento termodinamico del ciclo di Him e relazione con i singoli rendimenti dei componenti. Schema di un impianto a vapore risurriscaldato a tre spillamenti e suo diagramma (T,s). Considerazioni sugli spillamenti con scambiatori a superficie e a miscela (degasatore). Determinazione delle portate di vapore nei vari tratti dell'impianto per data potenza meccanica richiesta, determinazione delle portate di spillamento e definizione del rendimento termodinamico dell'impianto.

**Sistemi energetici a turbina a gas:** schema dell'impianto semplice e suo diagramma (T,s), definizione del ciclo di Brayton. Rendimento interno del compressore e della turbina. Architettura dalla camera di combustione, sua analisi energetica e rendimento. Problema delle temperature massime ammissibili in un impianto di turbina a gas. Rendimento termodinamico e rendimento d'impianto di un gruppo turbina a gas. Le prestazioni di un gruppo turbogas in termini di rendimento termodinamico, lavoro specifico, rapporto di compressione, temperatura massima.

**Sistemi frigoriferi:** schemi di impianto e diagrammi (T,s) e (p,h) per uno e due livelli di pressione.

Definizione del coefficiente di effetto frigorifero e del coefficiente di pompa di calore.

**Gli impianti energetici complessi:** il ciclo combinato Gas-Vapore semplice: schema dell'impianto, diagramma (T,s) e diagramma di scambio termico nella caldaia a recupero. Determinazione della portata di vapore nel bottomer per dato topper. Il rendimento dell'impianto combinato e problematiche dell'accoppiamento topper-bottomer.

L'esame consiste in una prova orale.

*Testi consigliati:*

G. NEGRI DI MONTENEGRO, M. BIANCHI, A. PERETTO, *Sistemi Energetici e loro componenti*, Pitagora.

## **SISTEMI INFORMATIVI**

**BO, cds: G\_BO**

Docenti: **Fabio Grandi** prof. ass.

### *Finalità*

Il corso si propone di fornire gli strumenti metodologici necessari alla corretta progettazione di un sistema informativo su piattaforma DBMS relazionale, nonché una conoscenza delle tecnologie di base impiegate nella loro realizzazione. Una parte del corso è inoltre mirata a presentare una panoramica ad ampio spettro delle attuali linee evolutive dei sistemi informativi.

### *Programma*

Sistemi informativi aziendali e sistemi per la gestione di basi di dati (DBMS). Introduzione ai concetti fondamentali sui sistemi informativi e sulle basi di dati relazionali. Teoria relazionale (versione "informale" e versione formale): definizioni di base, algebra relazionale, forme norma-

li. Il linguaggio standard SQL, DDL e DML. Interrogazioni semplici (query SPJ) e complesse: funzioni aggregate, raggruppamento, annidamento e uso di quantificatori, variabili relazionali e correlazione. Il sistema MS-Access.

Tecnologia dei sistemi relazionali. Indicizzazione dei dati (B+tree). Il controllo degli accessi concorrenti e la gestione delle transazioni. Il ripristino delle informazioni in caso di guasti. Cenni su basi di dati distribuite (frammentazione, protocolli di commit).

Progettazione dei sistemi informativi. Analisi dell'organizzazione aziendale, raccolta dei requisiti. Il progetto concettuale dei dati: la metodologia Entity-Relationship e gli schemi dei dati. Strategie di progetto. Integrazione di viste. Gli schemi dei flussi e delle operazioni: i diagrammi Data-Flow. Progettazione integrata di dati e funzioni. Progetto logico-relazionale.

Architetture avanzate ed evoluzione dei sistemi informativi. Distribuzione e parallelismo. Il paradigma client-server. Integrazione con sistemi legacy. Separazione funzionale ambienti OLTP-OLAP. Architetture aperte e interoperabilità. Basi di dati attive (regole ECA e trigger). Sistemi ERP. Data Warehousing. Internet e il World Wide Web. Integrazione fra WWW e DBMS.

### *Bibliografia obbligatoria*

Sono disponibili in fotocopia e sul Web appunti informali rilasciati dal docente.

P. ATZENI, S. CERI, S. PARABOSCHI, R. TORLONE, *Basi di dati: concetti, linguaggi e architetture*, Mc Graw Hill, 1996.

R. VAN DER LANS, *Introduzione a SQL*, Addison-Wesley, 2001.

C. FRANCALANCI, F. SCHREIBER, L. TANCA, *Progetto di Dati e Funzioni*, Progetto Leonardo, 1993.

## **SISTEMI INFORMATIVI II**

**BO, cds: I, G\_BO**

Docente: **Paolo Ciaccia** prof. straord.

Introduzione ai concetti fondamentali sui sistemi informativi. Raccolta dei requisiti per le informazioni utili all'organizzazione aziendale. Metodologie per il progetto, il modello Entità-Relazione. La progettazione concettuale e la costruzione degli schemi dei dati. I diagrammi di flusso delle operazioni ed il progetto delle funzioni. Strategie di progetto e documentazione.

Basi di dati relazionali, il modello logico relazionale, i vincoli sui dati. Algebra relazionale, selezione, proiezione e join. La normalizzazione delle relazioni, le dipendenze funzionali e le decomposizioni. Il linguaggio SQL, la creazione della base di dati, interrogazioni, manipolazione dei dati e controllo degli accessi. La progettazione logica, la ristrutturazione degli schemi concettuali, la traduzione in schemi logici relazionali. Struttura degli archivi. Metodi di ordinamento e di ricerca. Metodologie ed algoritmi per l'accesso con funzioni hash. Metodi hash dinamici. Gli indici B+tree. Indici primari secondari. Calcolo dei costi di accesso e di strutturazione dei dati. Metodologie di archiviazione di informazioni non strutturate. Strutture a files invertiti. Metodi che utilizzano signature files. Rappresentazione delle informazioni su memoria di massa, caratteristiche dei dispositivi. Sistemi di gestione di basi di dati (DBMS). Architettura generale di un DBMS relazionale. Metodi di accesso ai dati, algoritmi di join. Ottimizzazione delle interrogazioni, calcolo dei costi di accesso e di modifica dei dati e degli indici. I cataloghi di sistema e la metodologia di controllo delle autorizzazioni. Le transazioni, la gestione degli accessi concorrenti. Le metodologie di ripristino delle informazioni in caso di guasto software ed hardware. Tecnologia dei database server, la struttura client-server, architetture distribuite. Basi di dati e World-Wide-Web.

**Testi di riferimento:**

Sono disponibili in fotocopia appunti informali rilasciati dal docente.

P. ATZENI, S. CERI, S. PARABOSCHI, R. TORLONE, *Basi di dati: concetti, linguaggi e architetture*, Mc Graw Hill, 1996.

A. GUIDI, D. DORBOLÓ, *Guida ad SQL*, Mc Graw Hill, 1996.

P. CIACCIA, D. MAIO, *Lezioni di basi di dati*, Progetto Leonardo, 1996.

D. MAIO, S. RIZZI, *Esercizi di progettazione di basi di dati*, Progetto Leonardo, 1996.

**SISTEMI INFORMATIVI LA****CE, cds: dul, dut, dui**

Docente:

**Teoria ed Esercizi:**

Introduzione e finalità del corso

**1. Il Modello Relazionale:**

Il modello concettuale E/R

Progetto logico relazionale 3NF

Algebra relazionale ed espressioni relazionali

Linguaggio SQL

**2. Sistemi transazionali****3. Sistemi client server ed applicazioni di database per Internet****Complementi:**

Elementi di progetto fisico relazionale

Elementi di progetto di database object-oriented

**Laboratorio:**

Sviluppo di un database con il DBMS relazionale MS Access 97

Sviluppo di un database con MS SQL Server 7.0

Sviluppo di database per il web: collegamento ed interazione di un database con un sito web: redazione di semplici pagine asp.

**SISTEMI INFORMATIVI LA****BO, cds: I**Docente: **Paolo Ciaccia** prof. straord.**Programma**

Obiettivo del corso è fornire allo studente gli strumenti necessari per imparare a utilizzare le Basi di Dati relazionali, presentando le nozioni di base del modello relazionale e dei linguaggi relativi (algebra relazionale e SQL).

Gli argomenti trattati includono:

- Sistemi Informativi e Sistemi per la Gestione di Basi di Dati (DBMS).
- Le principali funzionalità di un DBMS.
- Il modello relazionale dei dati: concetti di base, valori nulli, vincoli sui dati (vincoli di dominio, di tupla di chiave e di integrità referenziale).



- L'algebra relazionale: operatori unari (selezione, proiezione e ridenominazione), operatori binari (join naturale, unione e differenza), operatori derivati (theta-join e divisione).
- Il linguaggio SQL (Structured Query Language): istruzioni di definizione dei dati (DDL), il blocco Select-From-Where, ordinamento del risultato, istruzioni di modifica dei dati, interrogazioni con aggregazione del risultato, interrogazioni innestate, definizione di viste, definizione di vincoli.
- L'interfaccia JDBC (Java Data Base Connectivity)

#### Esame

L'esame di Sistemi Informativi L-A prevede una prova scritta intermedia, una prova finale in laboratorio e un eventuale colloquio orale integrativo su richiesta del docente.

#### Bibliografia

Sono disponibili dispense e appunti a cura del docente.

#### Testi consigliati:

P. CIACCIA, D. MAIO: *Lezioni di Basi di Dati*, Esculapio, 2001.

P. ATZENI, S. CERI, S. PARABOSCHI, R. TORLONE: *Basi di Dati: concetti, linguaggi e architetture*, McGraw-Hill.

#### Testi di esercizi:

D. MAIO, S. RIZZI: *Esercizi di Progettazione di Basi di Dati*, Esculapio.

D. BENEVENTANO, S. BERGAMASCHI, M. VINCINI: *Progetto di Basi di Dati Relazionali: lezioni ed esercizi*, Pitagora, 2000.

### SISTEMI INFORMATIVI LB

BO, cds: I

Docente: Paolo Ciaccia prof. straordinario.

#### Programma

Obiettivo del corso è fornire allo studente gli strumenti necessari per imparare a progettare ed amministrare Basi di Dati relazionali, presentando una metodologia di progettazione basata sul modello Entity-Relationship e illustrando i principi costruttivi dei Sistemi per la Gestione di Basi di Dati (DBMS)

Gli argomenti trattati includono:

- Modelli concettuali e modelli logici dei dati.
- Il modello Entity-Relationship (E-R): concetti di base (entità, associazione, attributo, identificatore), identificazione esterna, tipi di gerarchie.
- Progettazione di Basi di Dati relazionali: raccolta e analisi dei requisiti, strategie per la progettazione concettuale, progettazione logica orientata al modello relazionale (carico di lavoro, volume dei dati, ristrutturazione dello schema E-R, traduzione in relazioni, normalizzazione), progettazione fisica (scelta degli indici)
- Tecnologia dei DBMS: gestione della memoria (dispositivi, file, pagine), gestione del buffer, rappresentazione delle relazioni, strutture dati (tipi di file, indici, B-tree e B+-tree, file hash), metodi di accesso (concetto di scansione e cursore), operatori logici e operatori fisici (algo-

ritmi di join, ordinamento esterno, raggruppamento), elaborazione di interrogazioni (parsing, autorizzazioni, riscrittura, regole di equivalenza, statistiche, generazione dei piani di accesso), controllo della concorrenza (tipi di anomalie, lock a 2 fasi, deadlock, livelli di isolamento), protezione dai guasti (uso del log, politiche di gestione del buffer, modalità di esecuzione del commit, processo di ripristino)

### Esame

L'esame di Sistemi Informativi L-A prevede una prova scritta e una prova in laboratorio.

### Bibliografia

Sono disponibili dispense e appunti a cura del docente.

### Testi consigliati:

P. CIACCIA, D. MAIO: *Lezioni di Basi di Dati*, Esculapio, 2001.

P. ATZENI, S. CERI, S. PARABOSCHI, R. TORLONE: *Basi di Dati: concetti, linguaggi e architetture*, McGraw-Hill.

## SISTEMI OPERATIVI LA

CE, cds: dut, dui

Docente: **Maurelio Boari** prof. ord.

### Programma

*Introduzione ai sistemi operativi.* Funzioni svolte ed evoluzione dai primi anni ai sistemi attuali.

*Struttura ed organizzazione di un sistema operativo.* Sistemi monolitici, macchine virtuali, modello cliente-servitore. Esempi di MS-DOS, OS/2, UNIX. Organizzazione interna: sistemi monoprogrammati, a divisione di tempo. Modalità di uso di un sistema di calcolo: batch, interattivo, general purpose, special purpose.

*Funzioni svolte da un sistema operativo.* Descrizione delle principali funzioni svolte con riferimento alla gestione delle risorse hardware e software ed alla esecuzione dei comandi dell'utente. Definizione delle chiamate di sistema (system calls), modalità di passaggio dei parametri. Stato utente e stato supervisore.

*Sistemi multiprogrammati.* Processi. Diagramma di stato dei processi. Processi pronti, in creazione, bloccati. Algoritmi di assegnazione della CPU ai processi.

*Sincronizzazione tra processi.* Semafori e primitive di sincronizzazione. Alcuni esempi. Problema del blocco critico e politiche di prevenzione.

*Definizione del nucleo di un sistema a processi.* Struttura dati e funzioni. Sincronizzazione tra processi in ambiente mono e multiprocessore.

*Gestione della memoria principale.* Tecniche a partizioni fisse e variabili. Registri limiti e base. Impaginazione e segmentazione.

*Gestione della memoria di massa.* Metodi di allocazione dei file: contigua, a lista, a indice. Gestione dello spazio libero. Metodo di accesso: byte stream, sequenziale, diretto e a chiave.

*Sistema Operativa UNIX.* File system, comandi principali, linguaggio di comandi (shell). Programmi in shell. Cenni sulla struttura interna.

**Testi consigliati**

- TANENBAUM A.S., *Modern Operating Systems*, Prentice Hall Intern. Ed., 1992.  
 ANCILOTTI P., BOARI M., *Principi e tecniche di programmazione concorrente*, UTET Libreria, 1988.

**SISTEMI ORGANIZZATIVI****BO, cds: G\_BO**Docente: **Alessandro Grandi** prof. straord.**Contenuti del corso**

Il corso è articolato in tre parti:

**1. Teorie Organizzative:**

Taylor e Fayol. Barnard. Weber. Le Relazioni Umane. I sistemi socio-tecnici. Simon. Il contingentismo. Tecnologia e struttura. Williamson. Neo-istituzionalismo. Ecologia delle popolazioni.

**2. Progettazione Organizzativa:**

Razionalità organizzativa. Campo d'azione. Equilibrio delle componenti. Interdipendenze, coordinamento, gerarchia. Discrezionalità e rapporti di potere. Le principali strutture organizzative: funzionale, divisionale, a matrice, a rete.

**3. Studio di casi aziendali****Modalità di esame**

Sono previsti due appelli per ogni sessione regolare d'esame. Il voto del modulo di Sistemi Organizzativi verrà mediato con il voto riportato nel modulo di Sistemi di Controllo di Gestione ai fini della votazione finale.

**Testi**

- JAMES D. THOMPSON (1993). *L'azione organizzativa*. Torino: Isedi. (capp. 2, 3, 4, 5, 6).  
 RICHARD W. SCOTT (1998). *Organizations*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. (cap. 1, 2, 3, 4, 7, 8).

Il materiale per la discussione dei casi verrà distribuito in aula, insieme con ulteriori letture di approfondimento.

**SPERIMENTAZIONE DEI MATERIALI DEI MODELLI  
E DELLE STRUTTURE****BO, cds: D, C**Docente: **Antonio Di Leo** prof. ass.

I valori dei molteplici parametri che definiscono le proprietà meccaniche dei materiali di impiego strutturale sono, oltre che variabili aleatorie, affetti da convenzionalità in termini di procedure sperimentali unificate. La loro utilizzazione al momento della modellazione matematica dei

legami costitutivi costituisce perciò un riferimento condizionato alla così standardizzata storia di carico o di deformazione e/o storia termo-igrometrica, con non trascurabili riflessi sui risultati dell'analisi strutturale.

L'Insegnamento tende a fornire indicazioni utili al superamento delle convenzionalità suddette, pur necessarie alla definizione di programmi sperimentali finalizzati sia alle correnti verifiche di conformità normalizzate che a caratterizzazioni ad hoc.

1) Principi di metrologia: sistemi di unità di misura, principi fisici e caratteristiche metrologiche degli apparecchi di misura.

2) Mezzi di carico per prove meccaniche e relativi trasduttori: macchine di prova, dinamometri e trasduttori di carico, verifica della taratura, classe e rigidità.

3) Metodi fisici e meccanici per la misura di deformazioni e spostamenti: estensimetria, trasduttori di spostamento meccanici, elettrici a variazione di resistenza o di induttanza.

4) Catene di misura: sensibilità e classe.

5) Metodi unificati per la determinazione dei parametri meccanici di materiali di interesse ingegneristico.

6) Criteri di conformità normalizzati: programmi sperimentali, parametri meccanici.

7) Metodi di indagine non distruttivi per la valutazione dell'omogeneità e la stima della classe di resistenza dei calcestruzzi in situ: vibrazionali, microsismici, di durezza superficiale, di estrazione, di penetrazione.

8) Energia di frattura per conglomerati cementizi: determinazione sperimentale e filessi sul legame costitutivo in trazione monoassiale.

9) Caratterizzazione meccanica di solidi murari.

10) Legami sforzi-deformazioni indipendenti e dipendenti dal tempo: influenza delle condizioni di prova, modellazione del legame costitutivo.

11) Calcestruzzo: deformazioni da ritiro (cenni sulla teoria della diffusione, modelli CEB, ACI, e Bazânt-Panula); deformazioni viscosi (viscosità lineare: modelli CEB, ACI e Bazânt-Osman; equazioni costitutive basate sull'analogia con molle e dispositivi viscosi); progetto di miscela.

12) Valutazione delle prestazioni di semplici elementi strutturali mediante prove di carico.

#### *Testi consigliati:*

La bibliografia è disponibile presso la biblioteca dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni.

*Esercitazioni: in laboratorio:* uso di strumenti e apparecchiature di prova; *in aula:* rappresentazione e analisi di risultati per via statistica.

#### *Propedeuticità consigliate*

Scienza delle Costruzioni e Tecnica delle Costruzioni.

### **SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE L**

**FO, cds: dum, clm**

Docente: **Gian Marco Bianchi ric.**

Il corso affronta il problema della sperimentazione sulle macchine inteso come insieme delle tecniche di misura e delle elaborazioni necessarie alla determinazione delle caratteristiche di funzionamento.

Scopo del corso è quello di fornire le conoscenze di base nel campo della misura delle prin-

cipali grandezze fisiche di interesse (velocità, pressione, temperatura, portata, coppia, velocità angolare, emissioni inquinanti). In particolare verranno illustrati i fondamenti teorici ed i principi fisici di ogni singolo strumento trattato ed il rispettivo campo di applicabilità.

Una particolare attenzione verrà dedicata alla sperimentazione nel campo dei motori endotermici alternativi. Il corso prevede anche l'allestimento di prove sperimentali in laboratorio secondo modalità da definirsi durante le lezioni, in relazione alla disponibilità degli strumenti.

Prova d'esame: È previsto il superamento di una prova orale.

## **STATICA L**

**CE, cds: dud**

Docente: **Giovanni Pascale** prof. ass.

### **1 STATICA E CINEMATICA DEI SISTEMI RIGIDI**

Richiami di statica. Composizione e decomposizione di sistemi piani di forze. Proprietà statiche e cinematiche dei vincoli. Statica del corpo rigido, delle travi e dei sistemi piani di travi. Studio analitico e grafico delle strutture isostatiche. Caratteristiche della sollecitazione. Strutture reticolari piane: studio attraverso i metodi dell'equilibrio dei nodi e delle sezioni di Ritter.

### **2 GEOMETRIA DELLE MASSE**

Sistemi piani di masse concentrate e distribuite. Studio delle proprietà geometriche e inerziali delle sezioni piane. Baricentro, momenti statici e momenti del secondo ordine. Assi e momenti principali d'inerzia. Ellisse centrale d'inerzia.

### **3 LA TRAVE CARICATA ASSIALMENTE**

Studio dello stato di tensione e deformazione. Lavoro di deformazione. Elasticità. Elasticità lineare. Materiali isotropi: leggi di Hooke. Modulo di Young e coefficiente di Poisson.

### **4 MATERIALI E SPERIMENTAZIONE**

Materiali duttili e fragili. Acciai e calcestruzzi: classificazione e cenni alle normative. Legami costitutivi. Materiali compositi fibrosi a matrice polimerica: tipologia, proprietà, cenni sull'analisi dello stato tensionale e deformativo.

Sperimentazione dei materiali e delle strutture: macchine di prova, procedure sperimentali e strumentazione per la misura di forze, spostamenti e deformazioni, con applicazioni pratiche in laboratorio.

### **5 LA TRAVE INFLESSA**

La trave soggetta a flessione retta. Tensioni (formula di Navier), deformazione dell'asse e della sezione, deformazione del concio elementare (legame momento-curvatura), linea elastica.

La trave soggetta a flessione deviata ed a sforzo normale eccentrico.

### **6 DEFORMAZIONE DELLE STRUTTURE ISOSTATICHE**

Determinazione dell'equazione della linea elastica per travi semplici. Calcolo di componenti di spostamento attraverso l'equazione della linea elastica ed il metodo cinematico.

Principio dei Lavori Virtuali, con applicazione al calcolo di componenti di spostamento di strutture isostatiche.

#### *Libri di testo*

PASCALE, *Lezioni di scienza delle costruzioni*, Voll. 1 e 2, Esculapio - Progetto Leonardo, Bologna.

VIOLA, *Esercitazioni di scienza delle costruzioni*, Voll. 1 e 2, Pitagora, Bologna.

PASCALE, *Scienza delle costruzioni: esercizi d'esame svolti*, Esculapio - Progetto Leonardo, Bologna.

BIGONI, DI TOMMASO, GEI, LAUDIERO, ZACCARIA, *Geometria delle masse*, Esculapio - Progetto Leonardo, Bologna.

#### *Altri testi di riferimento*

DI TOMMASO, *Fondamenti di scienza delle costruzioni*, Patron, Bologna.

CARPINTERI, *Scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna (con esercizi).

VIOLA, *Scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna.

BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, Zanichelli, Bologna.

CAPURSO, *Lezioni di scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna.

BEER, JOHNSTON, *Scienza delle costruzioni*, Mc Graw Hill, Milano.

#### *Modalità di svolgimento degli esami*

L'esame consiste in una prova orale, preceduta dallo svolgimento di uno o più esercizi scritti.

## **STORIA DELL'ARCHITETTURA II**

**BO, cds: D, C**

Docente: **Alberto Pedrazzini** prof. inc.

### **Introduzione al Corso**

Il Corso si propone come "esplorazione critica" della Storia dell'Architettura e dell'Urbanistica contemporanea con particolare riferimento alla situazione italiana del secondo dopoguerra.

L'attuale polivocità dell'architettura, caratterizzata da tendenze e scuole difficilmente delineabili rende urgente una verifica degli strumenti "storico/critici" dell'architettura stessa. Sembra doveroso rintracciare le trame che hanno caratterizzato l'architettura del novecento.

Si tratta cioè di leggere la Storia dell'Architettura e dell'Urbanistica quale sequenza di avvenimenti concreti che hanno determinato un certo ambiente costruito, imparando a leggerlo nelle sue molteplici componenti.

La storia dell'Architettura è, infatti, Storia delle tecniche costruttive, Storia delle idee che hanno generato i modelli, Storia dei tentativi di gestirli, Storia degli intellettuali protagonisti delle varie vicende, Storia della speculazione estetica da loro promossa. L'evento finito, l'oggetto, si lega dunque alla complessità di molteplici fattori che ci consentono di risalire alle motivazioni culturali, affettive ed emotive che ne hanno determinato la genesi, e permettono di risalire a quella storia di cui il costruito ne è essenza inequivocabile.

Piuttosto che tentativi di riscrivere per l'ennesima volta la Storia, il Corso vuole "riattraversarne" alcuni momenti, alla ricerca di un "profilo" inteso come condizione dell'epoca, dotato di una legittimità riassuntiva al proprio interno quella complessità strutturale e rappresentativa sociale senza le quali non ha senso parlare oggi di Architettura.

La vastità del quadro generale entro il quale si articola la storia della città e dei suoi elementi, richiede capacità di sapersi orientare e capacità di leggere la molteplicità delle proposte che stanno dietro l'intera vicenda dell'Architettura moderna e di quella italiana in particolare.

La ricerca delle "differenze" e dei "significati", lo sforzo di leggerli, capirli, e dare loro motivazione entro il tempo e la cultura che li hanno prodotti, diviene pertanto momento fondamentale del nostro lavoro. L'acquisizione di strumenti di lettura autonomi consentirà di comprendere meglio le particolarità di tante architetture racchiuse nei manuali.

## Articolazione del Corso

Il corso si pone essenzialmente due obiettivi:

- comunicare e "raccontare criticamente" una serie di eventi significativi alla luce delle considerazioni sopra esposte

- verificare le "capacità critiche" acquisite dagli allievi durante le lezioni, le comunicazioni, i seminari, le uscite sul campo mediante l'analisi descrittiva di alcune opere fondamentali (ricerche storiche e/o costruzione dei modelli).

Il primo momento didattico mirerà quindi in particolare all'individuazione di un "impalcato generale" della modernità entro il quale collocare varie vicende ritenute essenziali per la comprensione sia del dibattito internazionale che della situazione nazionale.

Il secondo punto ha in programma la verifica delle possibilità critiche dell'allievo, effettuata tramite "lettura" delle opere studiate ed illustrate durante le lezioni.

Le esercitazioni sono determinanti ai fini della valutazione della prova d'esame.

## Programma

Le lezioni, le comunicazioni seminariali, le esercitazioni e le visite sul campo, sono connesse all'espletamento del seguente programma:

1. Introduzione al Corso: contemporaneità, modernità, tradizione.
2. Le trasformazioni tecniche e l'architettura degli ingegneri
3. Europa e America all'inizio del secolo: Arte di stato ed Avanguardie.
4. Il "Novecento italiano" nell'età del nazionalismo. Rapporti con le culture nazionali e le vicende architettoniche tedesca, scandinava, francese, americana, russa, spagnola. I protagonisti in Germania, Belgio e Francia.
5. Le scuole e la formazione del linguaggio della modernità.
6. Ideologia e rappresentazione nei regimi totalitari.
7. L'Architettura durante il fascismo: le mostre, le architetture ed il problema delle città.
8. "Razionalismo" e "Futurismo" in Italia.
9. Le Corbusier e l'Esprit Nouveau.
10. Il Movimento Moderno e l'architettura dei maestri
11. Frank Lloyd Wright e la nuova concezione dello spazio
12. Tra guerra e pace: rotture e continuità
13. L'esperienza post bellica dei Paesi europei, il "Movimento per l'Architettura organica", il "Neorealismo" e l'APAO: Zevi, Quaroni, Gorio, Manfredini, Ridolfi. La questione dei centri storici.
14. La Condizione Post-Moderna e le tendenze degli anni '70 in Europa e in America.
15. Il dibattito contemporaneo sull'architettura e sull'urbanistica.

## Bibliografia essenziale

- ZEVI BRUNO, *Storia dell'architettura moderna*, Einaudi, Torino, 1950 e sgg.
- GIEDION SIGFRIED, *Spazio, Tempo, Architettura*, Hoepli, Milano, 1941 e sgg.
- BENEVOLO LEONARDO, *Storia dell'Architettura Moderna*, Laterza, Bari, 1960 e sgg.
- TAFURI MANFREDO, DAL CO FRANCESCO, *Storia dell'Architettura contemporanea*, Electa, Milano, 1976 e sgg.
- KENNETH FRAMPTON, *Storia dell'architettura moderna*, Zanichelli, Bologna, 1982 e sgg.
- GRESLERI GIULIANO, *Pleine Lumière*, Sapiens, Milano, 1993.
- MUNFORD LEWIS, *La città nella storia*, 1981.

*Bibliografia di supporto*

- TAFURI MANFREDO, *Storia dell'Architettura italiana 1944-'45*, Einaudi, Torino, 1986.  
 CIUCCI GIORGIO, *Gli Architetti e il Fascismo / Architettura e città 1922-1944*, Einaudi, Torino, 1990.  
 DE SETA CESARE, *La cultura architettonica in Italia tra le due guerre*, Laterza, Bari, 1983.  
 DAL CO FRANCESCO, CIUCCI GIORGIO, *Architettura italiana del '900*, Electa, Milano, 1991.  
 POLANO SERGIO, *Guida all'architettura italiana del '900*, Electa, Milano, 1991.  
 GRESLERI GIULIANO, *Le Corbusier/Viaggio in Oriente*, Marsilio, Venezia, 1984 e segg.  
 GRESLERI GIULIANO, *Le Corbusier/Viaggio in Toscana 1907*, Marsilio, Venezia, 1987.  
 GRESLERI GIULIANO, *Le Corbusier e L'Esprit Nouveau*, Electa, Milano, 1978 e segg.  
 PATETTA LUCIANO, VERCELLONI VIRGILIO, *Futurismo*, in "Controspazio", n° 4/5, maggio 1971.  
 CASSARÀ SILVIO, *La condizione del Post-Modern*, in "Parametro", n° 72, 1978.

Le due collane Zanichelli "Serie di Architettura" (SA) e "Teoria dell'Architettura Moderna" (TAM) offrono un panorama documentario di estremo interesse sui protagonisti, gli scritti, le opere e i programmi dell'Architettura Moderna.

Sui singoli temi assegnati per le esercitazioni, sul problema della costruzione dei modelli, sugli argomenti trattati, verrà di volta in volta indicata e discussa in aula la bibliografia più adeguata.

**STORIA DELL'ARCHITETTURA L****CE, cds: dud**Docente: **Silvio Cassarà** prof. inc.

- 1) Preistoria: la presa di possesso e di coscienza del territorio da parte dell'uomo primitivo
- 2) Architettura egizia
- 3) Architettura minoica e architettura micenea
- 4) Architettura dell'Ellade
- 5) Fra Etruria e Magna Grecia: i diversi contributi ai primi passi dell'architettura nella penisola italica
- 6) Architettura di Roma repubblicana
- 7) Architettura di Roma imperiale
- 8) Architettura bizantina e architettura paleocristiana
- 9) Dopo le invasioni: nuova strutturazione del territorio nell'alto-medioevo
- 10) Architettura romanica
- 11) Architettura gotica
- 12) Architettura del Rinascimento italiano
- 13) Architettura del Manierismo
- 14) Architettura barocca

*Bibliografia:*

- DAVID WATKIN, *Storia dell'architettura occidentale*, Zanichelli, Bologna, 1999.  
 LEONARDO BENEVOLO, *Storia della città*, Laterza, Roma-Bari, 1993.



**STORIA DELLE TECNICHE ARCHITETTONICHE L**

CE, cds: dud

Docente: **Silvio Cassarà** prof. inc.

La Storia del costruire è anche – fra le varie componenti di cui l'Architettura si fa sintesi – Storia del come un edificio viene o è stato realizzato.

La tecnica che un edificio racchiude o nasconde o esplicita o semplicemente utilizza è strumento di indagine del Corso. Che affronta in maniera progressiva i mutamenti intervenuti in tale ambito a partire dalla Rivoluzione industriale e quindi alla successiva e conseguente nascita del Movimento Moderno.

Un periodo che conserva alcuni momenti di "tradizionalismo" ma anche di profonda innovazione rintracciabile come strumento operativo anche nelle tecniche costruttive della contemporaneità.

Questo, senza escludere – tutt'altro – dei fondamenti di analisi storica imprescindibili da altre componenti che appartengono al processo del costruire e alla Storia dell'Architettura tout court.

E senza le quali le interrelazioni e gli elementi che contribuiscono alla definizione del concetto di Storia dell'Architettura – filosofici, sociali, tecnici, e quant'altro – sarebbero parziali e poco comprensibili in questo tentativo attuato nel Corso di fornire agli studenti uno strumento che non sia relegabile all'ambito di un addottrinamento culturale ma anche di uno mezzo – la Storia appunto – che possa eventualmente costituire un ulteriore strumento operativo professionale.

**STRUMENTAZIONE AEROSPAZIALE L**

FO, cds: cla, dua

Docente: **Carlo Bertoni** prof. inc.

*Geometria dell'orientamento:* Sistemi di coordinate; sommario delle proprietà orbitali e terminologia.

*I sensori per la determinazione dell'assetto:* Sensori solari, sensori di orizzonte, sensori di campo magnetico, sensori stellari. Modalità di impiego dei sensori d'assetto. I sensori inerziali.

*GPS:* struttura e modalità di trasmissione.

*Dinamica dell'assetto di un satellite:* Dinamica generale dell'assetto. Tensore d'inerzia. Momento angolare. Energia cinetica rotazionale. Moto di assetto dei satelliti stabilizzati su tre assi, spinnati ed ibridi. Richiami sulla soluzione delle equazioni differenziali e sullo studio della stabilità delle soluzioni.

*Controllo d'assetto:* Obiettivo del progetto di controllo. Modellizzazione di un veicolo stabilizzato su tre assi. modellizzazione di un veicolo spinnato. Modellizzazione di un veicolo ibrido. Modi di oscillazione. Influenza dei momenti esterni ed interni. Propulsori. Momenti magnetici. Momenti per gradiente gravitazionale. Momenti per spostamento di masse. Misure d'assetto e sistemi fondamentali di misura.

*Manovre per il controllo d'assetto con propulsori:* Controllo rapido mediante propulsori proporzionali. Controllo rapido mediante propulsori on-off.

*Manovre per il controllo d'assetto con reaction wheels:* controllo rapido mediante reaction wheels. Controllo lento su pitch mediante desaturazione gravitazionale. Controllo lento su roll/yaw mediante desaturazione gravitazionale.

*Manovre per il controllo d'assetto con gimbaled momentum wheel:* Controllo rapido. Controllo lento mediante desaturazione gravitazionale.

*Manovre per il controllo d'assetto durante l'azionamento dei propulsori:* Controllo mediante reaction jets. Controllo mediante gimbaled engine. Controllo mediante off-modulation spin.

*Manovre per la stabilizzazione d'assetto:* Stabilizzazione per effetto di spin. Smorzamento della nutazione. Dual spin. Stabilizzazione per effetto di propulsori assiali eccentrici.

**Esercitazioni di laboratorio:** simulazione di alcuni sistemi con l'uso di MatLab.

**Testi consigliati:**

Dispense del corso.

MARSHALL H. KAPLAN, *Modern Spacecraft Dynamics and Control*, Jhon Wiley & sons.

JAMES R. WERTZ, *Spacecraft Attitude Determination and Control*, Kluwer Academic Publisher.

**STRUMENTAZIONE BIOMEDICA**

**BO, cds: L**

Docente: Guido Avanzolini prof. ord.

**Finalità**

Nella prima parte l'Insegnamento si propone di fornire le conoscenze di base per il progetto e per l'uso appropriato e sicuro delle principali apparecchiature di misura e di elaborazione dei segnali biologici. Nella seconda parte sono illustrati i principi di funzionamento e le applicazioni dei più diffusi sistemi di supporto alle funzioni vitali.

**Programma**

**Parte I - I Sistemi per Misure Biomediche**

1. I concetti base della Strumentazione per misure biomediche. L'architettura e la descrizione funzionale dei sistemi per misure biomediche. Le prestazioni statiche e dinamiche dei sistemi di misura.

2. I sensori per misure biomediche. I sensori resistivi di temperatura, e pressione. I sensori piezoelettrici nelle apparecchiature ad ultrasuoni. I sensori fotoelettrici nelle apparecchiature per analisi cliniche. I sensori elettrochimici per la misura del pH, e dei gas nel sangue. Gli elettrodi per la rilevazione di segnali bioelettrici.

3. Acquisizione di segnali biologici. Gli amplificatori per segnali biomedici, la conversione Analogico/Digitale, gli oscilloscopi ed i registratori per uso biomedico.

4. La misura di potenziali bioelettrici. L'elettrocardiografo: specifiche, schema a blocchi, circuiti elettronici specifici, l'elaborazione automatica dell'elettrocardiogramma. La misura dell'elettromiogramma e dell'elettroencefalogramma.

5. I sistemi ad ultrasuoni per la diagnostica clinica. Generazione e propagazione degli ultrasuoni. I Flussometri ad ultrasuoni. I principi di ecografia. L'Ecotomografo.

6. La strumentazione per il laboratorio di analisi chimico-cliniche. La spettrofotometria, l'autoanalizzatore, il contatore degli elementi figurati del sangue.

7. La sicurezza elettrica delle apparecchiature elettromedicali. Effetti fisiologici dell'elettricità. Il pericolo di macroshock ed i sistemi di protezione Il pericolo di microshock ed i sistemi di protezione.

**Parte II - Sistemi di supporto alle funzioni vitali**

1. Gli elettrostimolatori cardiaci: il pacemaker ed il defibrillatore.

2. Emodialisi. Richiami di fisiologia renale, la macchina per emodialisi, monitoraggio e controllo del processo dialitico.

3. La macchina cuore-polmone ed il ventilatore artificiale.

**Testi consigliati:**

- G. AVANZOLINI, *Strumentazione biomedica, progetto e impiego dei sistemi di misura*, Patron Editore, Bologna, 1998.
- G.J., WEBSTER, *Medical Instrumentation: application and design*, Wiley & Sons, NY, 1998.
- W. WELKOWITZ, S. DEUTSCH, *Biomedical Instruments: Theory and design*, Academic Press, NY, 1976.
- R.S.C. COBBOLD, *Transducers for Biomedical Measurements: principles and applications*, Wiley and Sons, NY, 1974.
- J.J. CARR, J.M. BROWN, *Introduction to Biomedical Equipment Technology*, Wiley & Sons, NY, 1981.
- B.N. FEINBERG, *Applied Clinical Engineering*, Prentice-Hall, New Jersey, 1986.

Esercitazioni parallele allo svolgimento dell'Insegnamento.

**STRUMENTAZIONE BIOMEDICA L****CE, cds: clb**

Docente: **Silvio Cavalcanti** prof. ass.

**Finalità**

L'Insegnamento si propone di fornire le conoscenze di base per il progetto e per l'uso appropriato e sicuro delle principali apparecchiature di misura e di elaborazione dei segnali biologici.

**Programma**

1. I concetti base della Strumentazione per misure biomediche. L'architettura e la descrizione funzionale dei sistemi per misure biomediche. Le loro prestazioni statiche e dinamiche.
2. I sensori per misure biomediche. I sensori resistivi di temperatura, e pressione. I sensori piezoelettrici nelle apparecchiature ad ultrasuoni. I sensori fotoelettrici nelle apparecchiature per analisi cliniche. I sensori elettrochimici per la misura del pH, e dei gas nel sangue. Gli elettrodi per la rilevazione di segnali bioelettrici.
3. Acquisizione di segnali biologici. Gli amplificatori per segnali biomedici, la conversione Analogico/Digitale, gli oscilloscopi ed i registratori per uso biomedico.
4. La misura di potenziali bioelettrici. L'elettrocardiografo: specifiche, schema a blocchi, circuiti elettronici specifici, l'elaborazione automatica dell'elettrocardiogramma.
5. I sistemi ad ultrasuoni per la diagnostica clinica. Generazione e propagazione degli ultrasuoni. I Flussometri ad ultrasuoni. I principi di ecografia. L'Ecotomografo.
6. La strumentazione per il laboratorio di analisi chimico-cliniche. La spettrofotometria, l'autoanalizzatore, il contatore degli elementi figurati del sangue.
7. La sicurezza elettrica delle apparecchiature elettromedicali. Effetti fisiologici dell'elettricità. Il pericolo di macroshock ed i sistemi di protezione. Il pericolo di microshock ed i sistemi di protezione.

**Testi consigliati:**

- G. AVANZOLINI, *Strumentazione biomedica: progetto e impiego dei sistemi di misura*, Patron Editore, Bologna, 1998.
- J.G. WEBSTER, *Medical Instrumentation: application and design*, Wiley and Sons, NY, 1998.
- W. WELKOWITZ, S. DEUTSCH, *Biomedical Instruments: Theory and design*, Academic Press, NY, 1976.

R.S.C. COBBOLD, *Transducers for Biomedical Measurements: principles and applications*, Wiley and Sons, NY, 1974.

J.J. CARR, J.M. BROWN, *Introduction to Biomedical Equipment Technology*, Wiley & Sons, NY, 1981.

B.N. FEINBERG, *Applied Clinical Engineering*, Prentice-Hall, New Jersey, 1986.

Esercitazioni parallele allo svolgimento dell'Insegnamento.

## **STRUMENTAZIONE E AUTOMAZIONE INDUSTRIALE**

**BO, cds: G\_BO, M**

Docente: **Cesare Sacconi** prof. straordinario.

### *Programma*

L'Insegnamento si propone di fornire la conoscenza ed i criteri per il corretto impiego di strumenti, metodi ed apparecchiature di misura applicati ai processi industriali.

Si studiano dapprima criteri generali per l'impiego di singoli strumenti e per la realizzazione di catene di misura. Vengono, quindi, mostrate le principali modalità di regolazione, indirizzando ad una scelta corretta in relazione al tipo di processo ed all'impianto considerato.

Viene analizzata la strumentazione di uso più frequente nell'industria e le tecniche per la trasmissione a distanza, la registrazione delle misure e la gestione dei dati di processo.

Si illustrano metodi ed apparecchiature di misura industriali di diverse grandezze fisiche a completamento ed approfondimento delle nozioni acquisite nell'insegnamento di Misure Meccaniche, Termiche e Collaudi.

Vengono infine considerate le apparecchiature e i metodi più idonei per la strumentazione degli impianti meccanici di uso più frequente nell'industria ed inoltre di impianti sperimentali di tipo industriale e da laboratorio.

*Esame scritto e orale.*

### *Bibliografia:*

Dispense di strumentazione e automazione industriale.

## **STRUMENTAZIONE E MISURE ELETTRONICHE**

**BO, cds: T, L**

Docente: **Luca Selmi** prof. ass.

L'Insegnamento, partendo dall'architettura di uno specifico strumento (analizzatore di spettro nell'anno accademico considerato), illustra le caratteristiche fondamentali della strumentazione elettronica, con particolare attenzione alla componentistica ed ai problemi legati al rumore dei dispositivi elettronici. L'insegnamento tratta inoltre i problemi della connessione in rete di strumenti pilotati da calcolatore ed illustra l'architettura di una macchina automatica per il collaudo.

### *Programma*

*Gli analizzatori di spettro.* Brevi richiami sull'analisi spettrale. Applicazioni dell'analisi spettrale. Caratteristiche fondamentali degli analizzatori di spettro. Analizzatori analogici e digitali: differenze e applicazioni.

**Analizzatori analogici.** Sistemi "superheterodyne". Architettura di un analizzatore "superheterodyne". Specifiche di un analizzatore *superheterodyne*: risoluzione, sensibilità, cifra di rumore, *range* dinamico. Rappresentazione dei risultati. Estensione del *range* di frequenze: analizzatori per microonde.

**Analizzatori digitali.** Cenni sulla "Fast Fourier Transform". Architettura di un analizzatore digitale. *Band selectable analysis*. *Time window*. Generatori di rumore. Analisi di rete. Tecniche di media. *Real time band width*.

**Il rumore: sua caratterizzazione e misure.** I processi stocastici. Rumore Johnson, shot, burst e flicker. Densità spettrale di potenza nei diversi casi. Rumore nei 2-porte lineari. Sorgenti campione di rumore. Cifra di rumore di un apparato: dipendenza dai vari parametri e sua misura. Temperatura equivalente di rumore. Esempi di valutazione del rumore in semplici stadi amplificatori.

**Alcuni circuiti elettronici integrati di uso frequente nella strumentazione.** Amplificatori operazionali: caratteristiche e prestazioni. Tensione di *offset*, risposta in frequenza, *slew rate*, effetti termici. Tecniche per la riduzione dell'*offset* e per l'incremento *dello slew rate*. Amplificatori con ingresso a JFET. Amplificatori CMOS. Amplificatori ad 1 sola alimentazione. Amplificatori per strumentazione. Amplificatori a transconduttanza e transresistenza. Filtri attivi. Elementi non lineari (convertitori logaritmici, moltiplicatori analogici). Riferimenti di tensione. *Sample and hold*. Convertitori D/A e A/D.

**Reti di strumenti controllati da calcolatore.** Problemi di interfacciamento. L'interfaccia IEEE 488. Protocollo di trasmissione. Trasmissione di dati e comandi. Problemi di gestione e di trasmissione dei dati. Programmazione degli strumenti.

**Esempio di strumentazione computerizzata.** Cenni sui problemi del collaudo dei circuiti integrati. Il collaudo mediante (*Automated Test Equipment*) e mediante *Electron Beam Tester*. Caratteristiche ed architettura dell'ATE S15 e dell'EBT IDS3000. Funzionamento degli strumenti ed esempi d'uso.

### Esercitazioni

Sono previste una esercitazione in aula e due diverse esercitazioni di laboratorio. L'esercitazione in aula riguarda il progetto di un semplice strumento di misura (convertitore corrente/tensione con uscita digitale per correnti nel *range* 1nA-1mA). Le due esercitazioni di laboratorio verteranno una sugli analizzatori di spettro (misure di rumore rilevazione delle caratteristiche di segnali modulati, analisi delle distorsioni di segnali in uscita da generatori di segnali, ...) con successiva automazione delle misure mediante l'uso dell'interfaccia IEEE488.

### Tesi consigliati:

Appunti forniti dal docente. Sono disponibili videocassette che descrivono l'uso degli strumenti ed illustrano le esercitazioni.

### Esami

L'esame (orale) prevede anche, per chi ha svolto le esercitazioni, la discussione di una relazione sull'esercitazione di laboratorio svolta.

**STRUMENTAZIONE ELETTRONICA DI MISURA LS****BO, cds: E**Docente: **Domenico Mirri** prof. straord.*Programma***a) Segnali e sistemi nel dominio del tempo:**

- segnali tempo-continui;
- segnali tempo-discreti;
- sistemi tempo-continui;
- sistemi tempo-discreti.

**b) Segnali e sistemi nel dominio della frequenza:**

- trasformata di Fourier tempo-continua;
- serie di Fourier tempo-continua;
- analisi dei sistemi lineari e tempo-invarianti nel dominio della frequenza;
- trasformata discreta di Fourier;
- trasformata di Fourier tempo-discreta.

**c) Caratterizzazione metrologica di dispositivi elettronici:**

- amplificatore di tensione;
- circuito Sample-Hold;
- convertitori digitali-analogici;
- convertitori analogici-digitali.

**d) Strumentazione digitale:**

- interfaccia standard IEEE488;
- multimetro digitale;
- contatore universale;
- wattmetro a campionamento;
- oscilloscopio digitale;
- analizzatore di spettro digitale.

Sono previste esercitazioni di laboratorio.

*Esame:* orale.**STRUMENTAZIONE E MISURE ELETTRONICHE LA****CE, cds: dul**Docente: **Lorenzo Peretto** ric.

*Multimetri numerici in continua.* Misura in continua di tensioni, correnti e resistenza. Schema a blocchi, caratteristiche e prestazioni. Misure voltampermetriche di resistenza e potenza. Errori di indicazione e di consumo. *Esercitazioni di laboratorio sull'uso dei multimetri in continua.*

*Multimetri numerici in alternata.* Multimetri per la misura di tensioni e correnti in alternata. Schema a blocchi, caratteristiche, prestazioni e limiti di banda. *Esercitazioni di laboratorio sull'uso dei multimetri in alternata.*

*Oscillatori e generatori di funzioni.* Oscillatori sinusoidali. Oscillatori "spazzolati". Modulazione di ampiezza e di frequenza. Generatori di funzioni quadre, triangolari ed impulsive. Generatori di funzioni arbitrarie. Generatori sintetizzati.

*Oscilloscopi analogici e numerici.* Tubi a raggi catodici: cannone elettronico, deflessione elettrostatica ed elettromagnetica, postaccelerazione e schermi. Attenuatori ed amplificatori.

Base dei tempi. Circuiti campionatori e convertitori analogico-digitali. Limiti di banda degli oscilloscopi analogici e digitali. *Esercitazioni di laboratorio sull'uso degli oscilloscopi e dei generatori di funzioni.*

## **STRUMENTAZIONE E MISURE PER L'INQUINAMENTO L**

**BO, cds: R**

Docente: **Leonardo Marchetti**, prof. ord.

- L'inquinamento: valutazione qualitativa e sua misura quantitativa.
- La misura ed i sistemi di unità di misura. Criteri generali per le misure e modalità di effettuazione. Il campionamento e sua importanza. Metodi normalizzati di analisi.
- I metodi di misura e la scelta degli strumenti di misura.
- L'analisi qualitativa e quantitativa.
- I metodi dell'analisi chimica gravimetrica e volumetrica: principi teorici, applicazioni ed esempi.
- Metodi di analisi strumentali: Caratteristiche, vantaggi e limiti.
- Metodi di analisi spettroscopici, elettrochimici e cromatografici.
- Misura dell'inquinamento chimico e fisico degli ambienti di lavoro, dell'aria, delle acque e del suolo: tecniche di prelievo, metodologie analitiche e cenno alla Normativa.
- Trattamento dei dati analitici e valutazione dei risultati ai fini di una politica di controllo, per la verifica di standard e per la formulazione di indici di qualità ambientale.

Il corso sarà integrato da esercitazioni pratiche in laboratorio e sul campo.

### *Testi consigliati:*

Un qualunque testo, a livello universitario, di analisi chimica generale, strumentale e tecnica. Le metodologie analitiche della ACGIH, dell'UNICHIM e dell'IRSA-CNR, limitatamente agli argomenti del corso.

Le leggi nazionali e regionali sull'inquinamento, limitatamente alle metodiche analitiche riportate.

### *Modalità d'esame:*

L'esame consiste in una prova orale.

## **STRUMENTAZIONE INDUSTRIALE CHIMICA**

**BO, cds: duamb**

Docente: **Leonardo Marchetti** prof. ord.

- La misura ed i sistemi di unità di misura. Criteri generali per le misure e modalità di effettuazione. Il campionamento e sua importanza. Metodi normalizzati di analisi.
- Gli errori di misura e la presentazione dei risultati.
- Criteri di scelta del metodo di misura e degli strumenti di misura.
- Cenno ai principi dell'analisi chimica gravimetrica, volumetrica e strumentale.
- Cenno ai metodi di analisi spettroscopici, elettrochimici e cromatografici.
- Misura dell'inquinamento chimico e fisico degli ambienti di lavoro, dell'aria, delle acque e del suolo, e relative tecniche di prelievo.

– Trattamento dei dati analitici e valutazione dei risultati ai fini di una politica di controllo, per la verifica di standard e per la formulazione di indici di qualità ambientale.

Il corso sarà integrato da esercitazioni pratiche in laboratorio e sul campo.

#### *Testi consigliati:*

G. MINELLI, *Misure Meccaniche*, Ed. Patron, Bologna.

Un qualunque testo, a livello universitario, di analisi chimica generale, strumentale e tecnica.

Le metodologie analitiche della ACGIH, dell'UNICHIM e dell'IRSA-CNR, limitatamente agli argomenti del corso.

Le leggi nazionali e regionali sull'inquinamento, limitatamente alle metodiche analitiche riportate.

#### *Modalità d'esame:*

L'esame consiste in una prova orale.

### **STRUTTURE DI FONDAZIONE**

**BO, cds: R, C**

Docente: **Andrea Benedetti** prof. straord.

#### *Generalità sullo studio delle fondazioni*

- Struttura in elevazione, fondazione, terreno
- Progetto di una fondazione: finalità

#### *Il terreno e la valutazione dei cedimenti*

- La schematizzazione secondo il modello di Boussinesq
- Le superfici caricate di geometria elementare
- Pressioni di contatto e cedimenti per piastre indeformabili
- Osservazioni in merito al modello di Boussinesq e cenni a questioni pratiche
- La schematizzazione secondo il modello di Winkler
- Risultati di esperienze e confronto con le ipotesi di calcolo
- La trave di momento d'inerzia costante su suolo elastico alla Winkler
- Confronti fra il modello di terreno alla Boussinesq e alla Winkler

#### *Pali di fondazione*

- Tipologia dei pali e campo di applicazione
- Portanza limite del palo isolato: formule statiche
- Portanza limite del palo isolato: formule dinamiche
- Raffronto tra i risultati teorici e le indicazioni di carattere sperimentale
- La valutazione della portanza mediante i risultati di una indagine penetrometrica
- La prova di carico di un palo
- Portanza limite dei gruppi di pali
- Calcolo dei cedimenti per il palo singolo
- Calcolo dei cedimenti delle palificate
- Cenni alla distribuzione dei carichi fra gli elementi di una palificata
- Criteri di calcolo dei pali isolati soggetti ad azioni orizzontali
- Gruppi di pali verticali soggetti ad azioni orizzontali



**Fondazioni superficiali e profonde: criteri di calcolo degli elementi strutturali**

- Criteri generali di scelta del tipo di fondazione
- Fondazioni isolate: plinti
- Fondazioni continue: travi rovesce
- Fondazioni continue; reticoli di travi rovesce e platee
- Criteri di calcolo delle fondazioni superficiali sostenute da pali
- Le fondazioni in falda

**Interazione tra struttura in elevazione, fondazione e terreno**

- Metodi di progetto: le situazioni limite
- Metodi di verifica: il metodo delle deformazioni impresse

**Criteri di calcolo delle paratie e diaframmi continui**

- Tipologia degli elementi di contenimento
- Determinazione del diagramma del carico
- Profondità minima di infissione
- Verifica dello stato di sollecitazione
- Verifica della stabilità globale

Durante l'insegnamento vengono illustrati progetti di fondazione realizzate e svolti esercizi, corredati di sviluppi numerici, sui principali temi trattati.

**Testi consigliati**

BOWLES J.E., *Foundation analysis and design*, New York, Mc-Graw-Hill, 1982.

CESTELLI GUIDI C., *Geotecnica e Tecnica delle fondazioni*, Milano, Hoepli.

POZZATI P., *Teoria e Tecnica delle strutture*, Vol. I, Torino, UTET, 1972.

TERZAGHI, PECK, *Geotecnica*, Torino, UTET, 1974.

**STRUTTURE E MATERIALI AEROSPAZIALI LS****FO, cds: cla**

Docente: **Enrico Troiani**, prof. inc.

**Determinazione dello stato di tensione e di deformazione nelle strutture a guscio:**

- Richiami di teoria elementare;
- Metodi di successiva approssimazione per lo studio dello "shear-lag" e dell'impedito ingobbamento;
- Teoria dei corpi sottili, piastre e membrane;
- Metodi di calcolo matriciali: metodo delle forze e degli spostamenti;
- Metodi agli elementi finiti; applicazioni alle strutture aerospaziali;

**Materiali compositi**

- Proprietà fisiche; anisotropia, unidirezionali e tessuti
- Proprietà elastiche della singola lamina;
- Proprietà elastiche dei laminati stratificati, resistenza a rottura;
- Sandwich;
- Lastre e gusci in composito.
- Applicazioni degli elementi finiti per strutture in composito

**Analisi della stabilità dell'equilibrio elastico e del collasso nelle strutture aeronautiche;**

- Richiami ed applicazione alle travi;
- Applicazione ai corpi sottili piani semplici ed irrigiditi;
- Applicazione ai gusci cilindrici;
- Applicazioni ai compositi (cenni);
- Instabilità locale

**Elementi di dinamica delle strutture;**

- Note introduttive;
- Sistemi a parametri concentrati;
- Sistemi ad un grado di libertà;
- Sistemi a più gradi di libertà;
- Analisi modale;
- Sistemi continui.

**Testi di riferimento:**

- E.F. BRUHN, *Analysis and design of flight vehicles structures*, ed. Jacobs.  
 T.H.G. MEGSON, *Aircraft Structures for Engineering Students*, ed. Arnold.  
 R. RIVELLO, *Theory and analysis of flight structures*, ed. McGraw-Hill.  
 D. GAY, *Matériaux composites*, ed. Hermes.  
 R.J. JONES, *Mechanics of composite materials*, ed. McGraw-Hill.

**STRUTTURE SPECIALI****BO, cds: C**Docente: **Andrea Benedetti** prof. straord.

1. Cenni sulla gestione integrale della progettazione strutturale - Il calcolo - Il disegno strutturale - I documenti tecnici.
2. Tecniche C.A.D. nella progettazione e verifica di strutture speciali - L'interazione uomo-macchina - Hardware e software interattivi.
3. Strutture reticolari spaziali - Tipologie costruttive - Analisi statica - Richiami di dinamica - Particolari costruttivi - Metodi di esecuzione e montaggio.
4. Alti edifici - Tipologie costruttive - Analisi statica lineare - Analisi statica non lineare - Analisi dinamica modale - Analisi dinamica per integrazione diretta - Controllo attivo antisismico: gli edifici sospesi.
5. Tensostrutture - Tipologie costruttive - La ricerca della forma - Analisi statica e dinamica non lineare - Particolari costruttivi - Metodi di esecuzione e montaggio.
6. Membrane pressollecitate e strutture pneumatiche - Tipologie costruttive - La ricerca della forma - Analisi statica e dinamica non lineare - Particolari costruttivi - Metodi di esecuzione e montaggio.
7. Strutture a grande luce libera - Tipologie delle strutture strallate - Metodi di analisi - Metodi di esecuzione e montaggio.

**Propedeuticità consigliate**

Si raccomanda vivamente di aver frequentato i seguenti insegnamenti: Complementi di Tecnica delle costruzioni; Complementi di Scienza delle costruzioni; Analisi strutturale con elaboratore elettronico.

**STUDI DI FABBRICAZIONE****BO, cds: M**Docente: **Luca Tomesani** prof. ass.**Generalità**

Lo scopo del corso consiste nell'approfondimento delle problematiche di produzione, con particolare riguardo al concetto di ingegneria simultanea. Temi fondamentali del corso sono la scelta della tecnologia e delle macchine, i metodi di contabilità analitica (Centri di Costo e Activity Based Costing), le tecnologie speciali di produzione (laser, plasma, waterjet)

Non è richiesta la propedeuticità degli esami di Tecnologia Meccanica e Macchine Utensili, ma la conoscenza degli argomenti fondamentali di quelle materie è fortemente consigliata.

**Programma**

Organizzazione della pianificazione di processo: Distinta base, ciclo di fabbricazione, ciclo di montaggio, buoni di prelievo, bolle di lavoro, richieste di acquisto, ordini di acquisto, risorse e carichi di lavoro, piano aggregato di produzione, macrocicli.

Sistemi di produzione: Integrati e specializzati, continui e intermittenti, a flusso, a lotti e unitari, a catalogo e a commessa, a lancio su previsione e su ordine. Sistemi a progetto, a officina, a celle, flessibili, a flusso, a trasferta. Parametri di misura dei sistemi di produzione: lead time, production rate, plant capacity, utilizzazione di impianto, disponibilità, work in process.

Sistemi di contabilità analitica: Contabilità generale e contabilità industriale, costi fissi e variabili, diretti e indiretti, determinazione del profitto, oneri figurativi, ripartizione dei costi indiretti, costi industriali, costi di vendita e distribuzione, costi di amministrazione, sistema di ripartizione per centri di costo, sistema di ripartizione basato sulle attività. Esempi.

Ingegneria concorrente: Progetto concettuale, design for assembly, design for manufacturing, costruzione integrale, differenziale, composta e a blocchi, metodi di preventivazione dei costi, la competizione dei processi di fabbricazione, la competizione dei materiali, esempi e confronti fra cicli convenzionali e cicli non convenzionali.

Analisi di processi di taglio alternativi: Taglio meccanico di barre e lamiere, punzonatura e tranciatura, tranciatura di precisione, taglio ossiacetilenico, taglio al plasma, taglio laser, sorgenti CO<sub>2</sub> e Nd-YAG, taglio waterjet.

Esercitazioni: modellazione FEM 3D e 2D di processi di deformazione plastica, di asportazione di truciolo e fonderia. Valutazione dei carichi, delle tensioni sugli utensili, dei tempi di produzione. Formazione di difetti, cavità di ritiro, porosità, tensioni residue.

**Testi per la preparazione**

La globalità degli argomenti trattati è raccolta nella dispensa "Studi di Fabbricazione", disponibile presso la copisteria a fianco della biblioteca Dore. Le parti prive di commento vanno integrate da appunti presi a lezione o dai testi consigliati. Esempi di studi di fabbricazione sono raccolti nel testo "Lo stampaggio di precisione", edito da Pitagora, a cura di Luca Tomesani. Gli argomenti del testo sono riassunti nel sito: <http://diem101.ing.unibo.it/personale/tomesani/diemtech/index.html>

**Testi consigliati**

G. CHRYSOLOURIS, *Manufacturing Systems*, Springer-Verlag, 1992.

M.P. GROOVER, *Automation, production systems and CIM*, Prentice-Hall, 1987.

- C.S. SHIAN, U. MENNON, *Concurrent Engineering*, Chapman&Hall, 1994.  
 R.H. TODD, D.K. ALLEN, L. ALTING, *Manufacturing Processes Reference Guide*, Industrial Press, 1994.  
 J.G. BRALLA, *Handbook of product design for manufacturing*, McGraw-Hill, 1987.  
 M.M. FARAG, *Materials selection for engineering design*, Prentice-hall, 1997.  
 J.A. SCHEY, *Introduction to manufacturing processes*, McGraw-Hill, 1989.  
 S. KALPAKJIAN, *Manufacturing engineering and technology*, Addison Wesley, 1992.  
 F. GIUSTI, M. SANTOCHI, *Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione*, Ed. Ambrosiana, 1992.

## TECNICA DEI LAVORI IDRAULICI

BO, cds: C

Docente: **Sandro Artina** prof. ord.

*La redazione di un progetto.* La progettazione di opere idrauliche. Progetti di fattibilità ed analisi costi benefici (scopi, dati necessari, elaborati finali). Progetti di massima (prescrizioni generali del Ministero dei Lavori Pubblici, dati necessari, elaborati finali).

*Gare di appalto.* Modalità e documenti di gara. Preparazione di una offerta. Valutazione degli aspetti economici di un progetto (costi diretti e indiretti, organizzazione temporale delle varie attività, tecniche reticolari di programmazione, livellamento delle risorse, cenni di matematica finanziaria, cash-flow di un progetto, etc.). Modalità di aggiudicazione di un appalto, consegna del cantiere ed inizio dei lavori. Composizione di controversie, collaudi, revisione prezzi, liquidazione dei lavori.

*Dimensionamento di acquedotti secondo criteri economici.* Condotte di adduzione in pressione. Richiami ai criteri tradizionali di dimensionamento. Impostazione del dimensionamento come ricerca di minimo vincolato. Soluzione del problema in termini di diametri continui, tramite il metodo dei moltiplicatori di Lagrange. Soluzione del problema in termini di diametri commerciali, tramite l'algoritmo della programmazione dinamica. Reti di distribuzione in pressione. Reti ad albero. Reti a maglie. Il problema di verifica, le equazioni che governano il sistema. Richiami a possibili procedure di linearizzazione (metodo di H. Cross, teoria lineare, Newton-Raphson). Richiami ad algoritmi per la soluzione del sistema linearizzato adatti alla struttura della matrice. Soluzione del problema in termini di diametri commerciali, tramite programmazione non lineare a valori misti (M.I.P.).

*Dimensionamento di reti di fognatura.* Richiamo ai metodi di dimensionamento tradizionali. Influenza delle ipotesi di autonomia e sincronia del moto. Rappresentazione del comportamento idraulico di una rete di fognatura in condizioni di moto vario. Le equazioni che governano il sistema. Le condizioni al contorno da imporre ai pozzetti. Richiami al metodo delle differenze finite e soluzione del sistema tramite tale algoritmo. Uso di procedure interattive di supporto alla progettazione tradizionale. Dimensionamento secondo criteri economici. Formulazione del problema come ricerca di minimo vincolato. Soluzione del problema tramite l'algoritmo della programmazione dinamica.

*Studio dei moti di filtrazione* in opere di ritenuta in materiale sciolto. Richiamo alle equazioni di Laplace e di Poisson. Esame di un caso monodimensionale stazionario (verifica a lago pieno). Esame di un caso bidimensionale non stazionario (verifica in condizioni di rapido svuotamento). Soluzione del caso monodimensionale non stazionario tramite differenze finite. Introduzione al

calcolo variazionale: ricerca dell'estremo di un funzionale, equazioni di Eulero, condizioni al contorno di Dirichelet e di Newman, metodo di Ritz, metodo dei residui pesati, metodo di collocazione, metodo dei minimi quadrati, metodo di Galarkin. Soluzione del caso monodimensionale non stazionario tramite elementi finiti. Soluzione del caso bidimensionale stazionario tramite elementi finiti; problemi connessi alla individuazione della superficie di saturazione nel corpo diga. Soluzione del caso bidimensionale non stazionario.

*Descrizione dei principali aspetti di cantieri per la costruzione di opere idrauliche.*

Cantieri per opere di ritenuta. Cantieri per dighe in materiale sciolto. Cantieri per dighe in cls. Cantieri per acquedotti (opere di presa, adduzione e distribuzione). Cantieri per fognature. Cantieri per opere marittime.

A sostegno della parte teorica dell'insegnamento vengono svolte *esercitazioni*, i cui principali argomenti riguardano il dimensionamento di reti di acquedotto e di fognatura, e lo studio dei moti filtranti in opere di ritenuta in materiale sciolto.

Gli studenti sono guidati ad affrontare i problemi suddetti con l'ausilio di adeguati programmi di calcolo (di cui ritengono copia), operando individualmente su Personal Computers messi a disposizione presso il Centro di Calcolo della Facoltà.

## **TECNICA DEI LAVORI STRADALI, FERROVIARI ED AEROPORTUALI**

**BO, cds: C**

Docente: **Andrea Simone ric.**

- Organizzazione del cantiere. Pianificazione e programmazione. Analisi dei costi. Il progetto del cantiere. Pert. Gantt.
- Impianti per la preparazione degli inerti. Frantumazione. Vagliatura. Lavaggio.
- Impianti per calcestruzzi cementizi. Approvvigionamento dei componenti. Dosaggio. Impasto. Trasporto. Posa.
- Impianti per conglomerati bituminosi. Produzione. Impianti discontinui. Impianti continui. Impianti per emulsioni bituminose. Trasporto e posa.
- La costruzione della via (tracciamento). Tracciamento planimetrico. Tracciamento altimetrico.
- Tracciamento del corpo stradale.
- Lo scavo delle terre. Scavo con esplosivi. Scavo con macchine. Macchine per lo scavo.
- Macchine per il trasporto. Autocarri. Dumper.
- Macchine per spandimento e livellamento.
- Macchine per il costipamento. Il costipamento. Tecnologia del costipamento. Macchine ad azione statica. Macchine ad azione dinamica. Controllo del costipamento.
- Costruzione delle trincee. Pendenza delle scarpate. Metodi di attacco.
- Costruzione dei rilevati. Problemi del piano di posa. Scelta delle terre. La costruzione.
- Manutenzione stradale. Obiettivi della manutenzione. Degradi delle pavimentazioni. Fase della progettazione. Fase del rilevamento dati. Fase dell'analisi dei possibili interventi. Rigenerazione dell'aderenza. Rappezzi. Trattamenti superficiali. Tappeti superficiali. Malte a freddo. Trattamenti superficiali e microtappeti armati. Fresatura e riciclaggio dei conglomerati bituminosi. Rafforzamenti. Manutenzione delle pavimentazioni rigide.
- Tecnica dei lavori ferroviari. Premessa. Smaltimento delle acque. Assodamento. Rincalzatura. Sguarnitura. Riguarnitura e vagliatura. Risanamento della massicciata. Livellazione. Allineamento.

amento. Materiali della sovrastruttura ferroviaria.

- Costruzione delle gallerie. Premesse. Il cantiere. Impianto di ventilazione. Tecniche di costruzione delle gallerie. Materiali.

- Studio di redditività. Traffico. Beneficio netto attualizzato. Costo dell'utenza. Costo di esercizio. Capitale investito. Valore residuo. Scelta progettuale.

- Valutazione di impatto ambientale. Metodologia. Normativa. Componenti dei fattori ambientali. Analisi multicriteri. Infrastrutture lineari di trasporto. Aeroporti.

- Certificazione di qualità. Introduzione. Quadro normativo. Sistema qualità. La gestione della qualità nel cantiere stradale. Approvvigionamento. Controllo del processo di produzione. Prove, controlli, collaudi.

- La sicurezza nel cantiere stradale. Cenni ed esempi.

- Atti amministrativi. Contratti. Subappalto. Progetto. Varianti in corso d'opera. Direzione lavori. Tempo di esecuzione. Contestazioni fra committente ed appaltatore. Risoluzione del rapporto. Collaudo. Revisione dei prezzi. Legge Merloni.

#### *Testi consigliati:*

G. TESORIERE, *Strade, ferrovie, aeroporti*, voll. 2-3, UTET, Torino.

P. FERRARI, F. GIANNINI, *Ingegneria stradale. Geometrie e progetto di strade*, ISEDI, Torino.

G. DA RIOS, *Intersezioni stradali*, CLUP, Milano.

F.M. LA CAMERA, *Il calcolo del progetto stradale*, Masson, Milano.

*Propedeuticità*: Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti.

## **TECNICA DEI SONDAGGI**

**BO, cds: R**

Docenti: **Giovanni Brighenti** prof. ord.

### *Programma*

L'insegnamento fornisce le conoscenze di base relative alle tecniche di perforazione, alla progettazione dei pozzi per acqua e per idrocarburi nonché alle prime indagini geognostiche e geotecniche in situ.

L'insegnamento si propone di fornire i principi per la programmazione, la progettazione e l'esecuzione dei sondaggi e delle prove in situ nei campi degli idrocarburi, dell'acqua e delle indagini geognostiche e geotecniche.

### *Programma*

#### 1 - Metodi di perforazione.

Perforazione a percussione: descrizione dei principali metodi e relativi impianti.

Perforazione a rotazione: descrizione dell'impianto e criteri di calcolo dei suoi componenti; fluidi di perforazione, loro composizione e caratteristiche reologiche. Perforazione con motori sotterranei. Perforazione a mare. Perforazione orientata. Ottimizzazione della perforazione. Valutazione dell'impatto sull'ambiente.

#### 2 - Criteri di progettazione e di esecuzione dei pozzi per idrocarburi.

3 - Criteri di progettazione, esecuzione e messa in produzione dei pozzi per acqua. Prove di produttività, prove di strato, misure in pozzo.

4 - Programma ed esecuzione delle indagini geotecniche in situ. Criteri per la scelta delle indagini - sondaggi stratigrafici e geotecnici. Tecniche per il prelievo dei campioni. Classi di qualità dei campioni. Misure e prove in pozzo. Prove penetrometriche, pressiometriche e scissometriche. Parametri di progetto da prove in situ.

*Esame orali.*

### *Bibliografia*

Appunti del Docente (fotocopie).

CHILINGARIAN e VORABUTZ, *Drilling and Drilling Fluids*, Ed. Elsevier.

RABIA, *Oilwell Drilling Engineering*, Graham and Trotman.

INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, *Cours de Forage*, Ed. Technip.

M.J. ECONOMIDES et al., *Petroleum well construction*, J. Wiley.

UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN, *Rotare Drilling Series (unit I, II, III, IV, V)*, Petr. Extension Service, U. of Texas ed.

GERWICK, JR., B.C., *Construction of Marine and offshore Structures*, CRC press.

HARLAN et al., *Water-well Design and Construction*, Elsevier.

F.G. DRISCOL, *Ground water and wells*, Ed. Johnson.

CHIESA, *Pozzi per acqua*, Ed. Hoepli.

AGI, *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*.

A. KÉZDI, *Handbook of Soil Mechanics*, vol. 2: Soil Testing, Elsevier.

M. CASSAN, *Les Essais in situ in mécanique des Sols*, Ed. Eyrolles.

### *Esercitazioni*

Durante l'insegnamento vengono svolte esercitazioni di calcolo, di laboratorio seminari e visite a impianti.

## **TECNICA DEL CONTROLLO AMBIENTALE**

**BO, cds: G\_BO**

Docente: **Valerio Tarabusi** prof. straordinario.

L'Insegnamento si propone di esaminare tutti i fattori ambientali che, legati direttamente ai sensi del corpo umano, interferiscono con la qualità della vita: qualità chimica e fisica dell'aria (olfatto), qualità termoigrometrica dell'aria (olfatto, respirazione, tatto, superficie cutanea), rumore (udito), illuminazione (vista). Per ciascuna di essi vengono fornite le leggi elementari del fenomeno fisico e della risposta fisiologica e gli elementi tecnici di base necessari per effettuare il controllo in ambiente abitativo, di lavoro ed esterno, nonché i riferimenti normativi di base. Per le diverse tecniche di controllo vengono esplicitati i metodi progettuali ed evidenziati i problemi di carattere gestionale.

### *Programma*

#### *Elementi di termodinamica del moto dei fluidi*

**MOTO DEI FLUIDI COMPRIMIBILI** - Il concetto di comprimibilità nella realtà delle applicazioni. Strato limite. La velocità di propagazione delle onde di pressione. Casi di studio.

#### *Elementi di bioenergetica*

**BENESSERE TERMOIGROMETRICO** - Il metabolismo del corpo umano. Scambi combi-

nati di calore e di massa tra corpo umano e ambiente. Le equazioni di Fanger. La zona di benessere secondo Ashrae. Grado di soddisfacimento del benessere termoigrometrico. Tollerabilità dello stress termico. La qualità dell'aria negli spazi confinati. Misura dei parametri ambientali.

**CONSEGUIMENTO PASSIVO DEL BENESSERE AMBIENTALE** – Condensazione superficiale. Condensazione interstiziale. Ventilazione naturale degli ambienti confinati. Bilancio termoigrometrico degli ambienti confinati. Analisi termoigrometrica delle strutture trasparenti. Il ricambio d'aria per espellere gli inquinanti ambientali: calore, umidità, gas, odori.

**ELEMENTI DI IMPIANTISTICA PER IL BENESSERE AMBIENTALE** – Schemi generali: riscaldamento e climatizzazione. Leggi e normative di settore. Componentistica di base: caldaie, gruppi frigoriferi, terminali d'impianto, torri evaporative, condensatori ad aria, condizionatori d'aria, sistemi ad energia totale ed a recupero. Impiantistica di benessere ed ambiente esterno.

#### *Elementi di acustica*

**ACUSTICA FISICA E PSICOFISICA** – Il fenomeno sonoro. La propagazione per onde piane, cilindriche, sferiche. La misura e la valutazione dei parametri acustici. L'udito e l'apparato uditivo. Valutazione della sensazione sonora.

**ACUSTICA APPLICATA** – Acustica psicofisica: disturbo e danno da rumore. Propagazione attraverso mezzi continui e discontinui. Riflessione, rifrazione, diffrazione del suono. L'assorbimento del suono. Il tempo di riverberazione. La trasmissione del suono. Analisi acustica delle pareti semplici e composte. Le barriere acustiche. Modelli matematici previsionali.

#### *Elementi di illuminotecnica*

**FISICA DELL'ILLUMINAZIONE** – Il fenomeno luminoso. La propagazione della luce. Le grandezze fotometriche e la fotometria.

**ILLUMINOTECNICA** – Le sorgenti di luce. Illuminazione artificiale di interni. Illuminazione naturale di interni. Illuminazione artificiale di esterni.

Programma della seconda parte dell'Insegnamento

#### *Bioenergetica*

**IMPIANTISTICA PER IL BENESSERE AMBIENTALE** – Gli impianti per il trattamento dell'aria negli ambienti civili e industriali. Gli impianti di estrazione. Il decreto legislativo 62/94: la sicurezza nei luoghi di lavoro.

#### *Acustica applicata*

**LA PREVENZIONE** – Il controllo della rumorosità negli ambienti di lavoro. Costruzione delle mappe di rumore e loro utilizzo ai fini prevenzionistici. La Direttiva Macchine 89/392; sicurezza intrinseca ad inserimento ambientale. La misura della potenza sonora; il decreto legislativo 277/91.

#### *Testi consigliati*

A. COCCHI, *Inquinamento da rumore*, Maggioli Ed., Rimini.

A. COCCHI e altri, *La legge quadro sull'inquinamento acustico*, Maggioli Ed., Rimini, 1996.

A. COCCHI, *Elementi di Termofisica generale ed applicata*, Progetto Leonardo - Società Editrice Esculapio - Bologna, 1990.

Y.A. CENGEL, *Termodinamica e trasmissione del calore*, McGraw-Hill Libri Italia Srl - Milano, 1998.

G. MONCADA LO GIUDICE, *Fisica tecnica ambientale, Termodinamica applicata*, Volume primo - Masson/ESA, Milano, 1999.



- G. MONCADA LO GIUDICE, L. DE SANTOLI, *Fisica tecnica ambientale, Trasmissione del calore*, Volume secondo – Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1999.
- G. MONCADA LO GIUDICE, L. DE SANTOLI, *Fisica tecnica ambientale, Benessere termico, acustico e visivo*, Volume terzo – Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1999.
- G. MONCADA LO GIUDICE, L. DE SANTOLI, *Progettazione di impianti tecnici – Problemi ed applicazioni*, Seconda edizione – Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 2000.
- G. MONCADA LO GIUDICE, S. SANTOBONI, *Acustica*, Masson/ESA, Milano, 1995.
- G. MONCADA LO GIUDICE, A. DE LIETO VOLLARO, *Illuminotecnica*, Masson/ESA, Milano, 1995.
- M. GARAI, S. SECCHI, G. SEMPRINI, *Isolamento acustico degli edifici – Metodi di calcolo*, Maggioli Editore, 2000.
- G. DALL'O', *Gli impianti nell'architettura*, Volume primo – UTET, Torino, 2000.
- G. DALL'O', *Gli impianti nell'architettura*, Volume secondo – UTET, Torino, 2000.
- Manuale di Progettazione Edilizia*, vol. 2, Criteri ambientali e impianti, Ed. Hoepli, Milano, 1994.

Testi delle varie normative tecniche

#### Esercitazioni:

Le esercitazioni svolte in aula riguardano approfondimenti e/o completamenti degli argomenti trattati nelle lezioni.

#### Modalità d'esame:

L'esame finale consiste in una prova orale su temi a carattere teorico e/o applicativo, aventi come oggetto le nozioni di base fornite dall'insegnamento stesso.

*Propedeuticità:* Fisica Tecnica

## TECNICA DELLA SICUREZZA AMBIENTALE

BO, cds: R

Docente: **Gigliola Spadoni** prof. straord.

#### Obiettivi

L'insegnamento ha per oggetto le tecniche da adottarsi per la identificazione e la stima quantitativa dei **rischi ambientali** in attività antropiche quali impianti industriali e grandi opere infrastrutturali, che, per dimensioni e/o caratteristiche, sono potenzialmente in grado di provocare modificazioni funzionali del territorio e quindi della qualità della vita degli abitanti. Esso intende inoltre fornire strumenti per la prevenzione e mitigazione dei relativi impianti.

#### Programma

Lo stato dell'ambiente in Italia ed i fattori di pressione.

La Valutazione di Impatto Ambientale (VIA): articolazione della procedura, campo di applicazione e criteri di attuazione. Gli Studi di Impatto Ambientale e le metodologie di lavoro nelle diverse fasi: tecniche per individuare gli impatti e quantificarli, indicatori ed indici, interventi di prevenzione e mitigazione degli impatti.

L'impatto sull'aria di effluenti gassosi: elementi di meteorologia e modelli semplici per lo studio della dispersione atmosferica di inquinanti, il modello ISC3 dell'EPA; esempio di impatto di una centrale termoelettrica.

Il monitoraggio della qualità dell'aria: elaborazione statistica dei dati rilevati, modelli interpretativi di rilievi in zone urbane e/o industriali, interventi per il miglioramento della qualità.

La costruzione di indicatori di qualità ambientale per descrivere lo stato delle componenti

Territorio (popolazione, habitat, uso e qualità, diversità delle specie,...), Aria (qualità e climatologia), Acqua (popolazione, habitat, qualità, quantità,...) e Interfaccia uomo-ambiente (rumore, odori, estetica, storia,...).

Il rischio ambientale da agenti cancerogeni: classificazione e valutazione (identificazione dei pericoli, valutazione del legame dose-risposta, valutazione dell'esposizione, unità di rischio, caratterizzazione del rischio, criteri di accettabilità, gestione del rischio e sua comunicazione).

Studi (completi) di impatto ambientale e seminari su progetti specifici (alta velocità, variante di valico) e sulla normativa regionale in materia.

Rischi specifici delle sostanze e dei preparati chimici: i parametri di identificazione, la classificazione, l'etichettatura e le schede di sicurezza. Problemi di igiene e sicurezza industriale. Ventilazione per diluizione e aspirazione localizzata. Applicazioni. Analisi dei rischi delle attività industriali (non nucleari) a rischio di incidente rilevante: elementi di base della procedura di valutazione (identificazione eventi anomali, valutazione frequenze incidentali e conseguenze).

Elementi introduttivi sugli strumenti comunitari di eco-gestione ed eco-audit. Il bilancio ambientale di una attività produttiva. I Sistemi di Gestione Ambientale (ISO 14000 ed Emas) e di Gestione della Sicurezza (BS8800 e UNI616).

### *Bibliografia*

Per l'elenco dei testi consigliati rivolgersi al Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali.

## **TECNICA DELLA SICUREZZA AMBIENTALE**

**BO, cds: duamb**

Docente: **Gigliola Spadoni** prof. straord.

### *Finalità*

Il corso ha per oggetto le tecniche da adottarsi per l'identificazione e la stima quali-quantitativa dei rischi ambientali da attività antropiche. Esso fornisce inoltre alcuni strumenti per la prevenzione e mitigazione degli impatti, con particolare riferimento agli interventi per gli ambienti di lavoro ed il disinquinamento atmosferico.

### *Programma*

*Gli inquinanti ambientali:* tipi, proprietà, parametri caratteristici, effetti. Gli indici di qualità dell'ambiente.

*Interventi contro l'inquinamento ambientale:* obiettivi e modalità di intervento. La depurazione di reflui gassosi: apparati tipici (inceneritori, apparati di assorbimento e deumidificazione, cicloni, elettrofiltri, filtri a manica, ...). Esempi applicativi.

La normativa contro l'inquinamento ambientale e le Direttive CEE.

*Rischi specifici delle sostanze e dei preparati chimici:* parametri di identificazione, classificazione, etichettatura, schede di sicurezza. *Rischi negli ambienti di lavoro:* rischio chimico, meccanico, elettrico, ... e la procedura di valutazione. Interventi per l'igiene e la sicurezza industriale. Applicazioni.

La normativa per l'igiene e la sicurezza nel lavoro e per le industrie non nucleari a rischio di incidente rilevante.

*Eco-label, audit di sicurezza ed ambientali:* obiettivi e procedure di attuazione.

**TECNICA DELLE ALTE TENSIONI****BO, cds: E**Docente: **Giovanni Mazzanti ric.**

L'Insegnamento si propone di approfondire la conoscenza delle tecniche degli apparati specifici utilizzati nel campo delle alte ed altissime tensioni ponendo l'accento sulle modificazioni che la tecnologia elettrica subisce quando le tensioni assumono valori elevatissimi.

Allo scopo nell'insegnamento vengono analizzati i diversi tipi di sollecitazioni cui sono soggetti gli apparati in alta tensione (tensione di esercizio, sovratensioni atmosferiche, sovratensioni di manovra) ed il comportamento dei diversi sistemi isolanti con tali sollecitazioni.

Vengono inoltre illustrati gli apparati e le metodologie di prova per riprodurre in laboratorio le diverse sollecitazioni che si hanno in esercizio sugli apparati di alta tensione.

L'insegnamento si collega a monte con quelli di Tecnologie Elettriche, Impianti elettrici e Misure elettriche.

In sintesi il programma dell'insegnamento è il seguente:

- Coordinamento degli isolamenti
- Meccanismi di scarica nei gas su brevi e lunghe distanze, scarica del fulmine, schermatura delle linee
- Sovratensioni di origine atmosferica e mezzi per la loro riduzione
- Sovratensioni di manovra e mezzi per la loro riduzione
- Interruttori per alta tensione
- Prove sugli interruttori per alta tensione
- Impianti di prove in alta tensione in corrente continua, corrente alternata ed ad impulso
- Elementi costitutivi di una stazione blindata
- Cenni sul calcolo dei campi elettrici con metodi numerici
- Cenni sugli effetti fisiologici di elevati campi elettrici

Vengono forniti appunti preparati dal docente, contenenti anche indicazioni bibliografiche per l'approfondimento della materia.

**TECNICA DELLE COSTRUZIONI****BO, cds: C**Docente: **Claudio Ceccoli prof. ord.**

*Finalità dell'Insegnamento:* mettere gli allievi in grado di redigere il progetto delle più ricorrenti strutture.

*Programma*

L'insegnamento, riguardante la teoria e la tecnica delle strutture, si articola nelle parti fondamentali del progetto delle strutture - Sistemi di travi - Strutture di fondazione - La precompressione delle strutture - Lastre piane - Lastre curve di rivoluzione. Le *esercitazioni* riguardano le applicazioni pratiche relative a ricorrenti tipi di strutture, con estesa illustrazione delle norme per le costruzioni di calcestruzzo armato, di acciaio e precomprese. Gli studenti vengono assistiti per lo sviluppo di tre progetti riguardanti: una struttura metallica di un edificio industriale; un telaio multipiano di calcestruzzo armato con relativa fondazione; una trave precompressa.

*Testi consigliati:*

Dispense redatte dai Docenti dell'Istituto.

- O. BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, ed. Zanichelli, Bologna; vol. II (Struttura a volte iperstatiche, Travi nello spazio, Cemento armato, Collegamenti); vol. III (Lastre piane, Lastre curve di rivoluzione).
- E. GIANCRECO, *Teoria e tecnica delle costruzioni*, ed. Liguori, Napoli, 1971; vol. I (Strutture in c.a.p., Questioni pratiche); vol. II (Sistemi di travi); vol. III (Lastre piane).
- A. MIGLIACCI, *Progetti di strutture*, Tamburini, Milano, 1968.
- G. OBERTI, *Corso di tecnica delle costruzioni*, Levrotto e Bella, Torino, 1971.
- E. POZZATI, *Teoria e tecnica delle strutture*, ed. UTET, Torino, vol. I (Fondamenti, marzo 1972); vol. II parte 1 (Sistemi di travi: l'interpretazione elastica, febbraio 1977); vol. II parte 2, in collaborazione con C. CECCOLI (Sistemi di travi: applicazioni pratiche, febbraio 1977).
- V. ZIGNOLI, *Costruzioni edili (metalliche)*, ed. UTET, Torino, 1974.

*Svolgimento degli esami, esercitazioni:* L'esame consiste nello svolgimento dei progetti durante l'anno e in una prova orale, alla quale si è ammessi se risulta positivo il giudizio degli stessi progetti. Gli studenti che nel corso delle esercitazioni non hanno effettuato un numero minimo di presenze debbono svolgere una prova scritta per essere ammessi a quella orale.

*Propedeuticità consigliate:* Scienza delle costruzioni.

Tesi di laurea

Progetti di strutture - Coordinamento con tutti gli Istituti interessati a problemi strutturali.

## TECNICA DELLE COSTRUZIONI

Docente: **Pier Paolo Dotallevi** prof. ord.

BO, cds: D

### *Finalità dell'Insegnamento.*

Il corso si propone di esaminare gli argomenti di carattere sia teorico sia applicativo per permettere agli allievi di redigere il progetto delle strutture più ricorrenti.

### *Programma*

L'Insegnamento riguarda la teoria e la tecnica delle strutture e si articola nella nei seguenti capitoli fondamentali:

- la sicurezza strutturale
- le azioni sulle strutture
- i fondamenti del progetto delle strutture
- i sistemi di travi
- i procedimenti per la verifica della sicurezza (tensioni ammissibili e stati limite)
- le strutture di fondazione
- le strutture precomprese
- le lastre piane
- le membrane di rivoluzione
- i riferimenti normativi per le costruzioni
- le costruzioni in zona sismica (primi cenni).

Le *Esercitazioni* riguardano le applicazioni pratiche relative ai tipi di strutture ricorrenti quali le strutture di cemento armato, le strutture metalliche, le strutture precomprese; questi temi sono accompagnati da una estesa illustrazione delle normative. Vengono inoltre portate alcune prime indicazioni sulla progettazione delle costruzioni di muratura e delle strutture di legno. Gli allievi

vengono assistiti nello sviluppo di progetti riguardanti una struttura metallica, un telaio di cemento armato per un edificio multipiano e delle relative strutture di fondazione ed infine una trave di cemento armato precompresso.

#### *Testi consigliati:*

Dispense redatte dai Docenti del Raggruppamento Disciplinare "Tecnica delle costruzioni" di Bologna.

G. BALLIO, F. M. MAZZOLANI, *Strutture in acciaio*, ed. ISEDI, Milano, 1979.

O. BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, ed. Zanichelli, Bologna.

E. GIANGRECO, *Teoria e tecnica delle costruzioni*, ed. Liguori, Napoli, 1971.

A. MIGLIACCI, *Progetti di strutture*, ed. Tamburini, Milano, 1968.

P. POZZATI, *Teoria e tecnica delle strutture*, ed. UTET, Torino, 1972 (vol. I), 1977 (vol. II).

V. ZIGNOLI, *Costruzioni metalliche*, ed. UTET, Torino, 1974.

#### *Svolgimento degli esami e delle esercitazioni*

L'esame consiste nello svolgimento dei progetti durante l'anno e in una prova orale alla quale si è ammessi se risulta positivo il giudizio sui progetti stessi. Gli studenti che nel corso delle esercitazioni non hanno raggiunto un numero minimo di presenze debbono svolgere una prova scritta per essere ammessi a quella orale.

*Propedeuticità consigliate:* Scienza delle costruzioni

#### *Tesi di laurea*

Gli argomenti delle tesi di laurea hanno come carattere fondamentale il progetto delle strutture. Le tesi di laurea possono essere coordinate con altri insegnamenti interessati ai problemi della progettazione strutturale

### **TECNICA DELLE COSTRUZIONI**

**BO, cds: R**

Docente: **Raffaele Poluzzi**, prof. ass.

#### *Finalità dell'Insegnamento:*

Mettere gli allievi in grado di affrontare il progetto delle più ricorrenti strutture.

#### *Programma*

L'Insegnamento, riguardante la teoria e la tecnica delle strutture, si articola nelle seguenti parti: Azioni sulle costruzioni - Costruzioni di calcestruzzo armato e di acciaio (tecnologia e verifiche di sicurezza) - Fondamenti del progetto delle strutture - Sistemi di travi - Statica delle funi - Strutture di fondazione - Paratie - La precompressione delle strutture (cenni) - Tubazioni - Gallerie - Valutazioni applicative relative alla stabilità dell'equilibrio (cenni).

Le *esercitazioni* riguardano le applicazioni pratiche relative a ricorrenti tipi di strutture, con estesa illustrazione delle norme per le costruzioni di calcestruzzo armato, di acciaio e precomprese.

Gli studenti vengono assistiti per lo sviluppo di un progetto riguardante una struttura di calcestruzzo armato.

*Testi consigliati:*

Dispense redatte dai Docenti dell'Istituto:

- O. BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, ed. Zanichelli, Bologna; vol. II (Strutture a molte iperstatiche, Travi nello spazio, Cemento armato, collegamenti); vol. III (Lastre piane, Lastre curve di rivoluzione).
- E. GIANGRECO, *Teoria e tecnica delle costruzioni*, ed. Liguori, Napoli, 1971; vol. I (Strutture in c.a.p., Questioni pratiche); vol. II (Sistemi di travi).
- A. MIGLIACCI, *Progetti di strutture*, Tamburini, Milano, 1968.
- P. POZZATI, *Teoria e tecnica delle strutture*, ed. UTET, Torino, vol. I (Fondamenti, marzo 1972); vol. II parte I (Sistemi di travi: L'interpretazione elastica, febbraio 1977); vol. II parte 2, in coll. con C. CECCOLI (Sistemi di travi: applicazioni pratiche, febbraio 1977); vol. II parte 2, in coll. con C. CECCOLI (Sistemi di travi: interpretazione del collasso, settembre 1987).
- V. ZIGNOLI, *Costruzioni edili (metalliche)*, ed. UTET, Torino, 1974.

*L'esame* consiste in una prova orale.

*Propedeuticità consigliate:* Scienza delle costruzioni.

*Tesi di laurea:* Progetti di strutture. Coordinamento con tutti gli Istituti interessati a problemi strutturali.

**TECNICA DELLE COSTRUZIONI II**

**BO, cds: D, C**

Docente: **Marco Savoia** prof. straord.

**1. Strutture di controventamento degli edifici**

Generalità. Ripartizione delle azioni tra più elementi di irrigidimento. Strutture di controvento. Pareti con aperture. Modalità di crisi delle pareti di controvento soggette ad azioni orizzontali. Dettagli costruttivi. Sistemi spaziali di controvento.

**2. Lastre caricate nel piano**

Relazioni generali della teoria dell'elasticità. Stati piani di tensione e deformazione. Formulazione mediante funzioni di Airy (equazioni di campo ed al contorno). Esempi di risoluzione. Travi parete in c.a.: Generalità; pareti in stadio non fessurato, fessurato e comportamento a collasso; travi parete a più campi; criteri di dimensionamento; carichi appesi; dettagli costruttivi.

**3. Lastre cilindriche**

Generalità. Esempi di lastre cilindriche e tipologie strutturali. Criteri di calcolo a volta-trave. Tegoli prefabbricati di copertura. Dettagli costruttivi. Le membrane cilindriche a direttrice poligonale. Teoria dei gusci cilindrici: Comportamento membranale e flessionale. Serbatoi esempi di calcolo delle sollecitazioni. Prescrizioni costruttive e particolari costruttivi. Tubi con appoggio continuo e appoggio su selle.

**4. Duttilità delle strutture in c.a.**

Formule di verifica di sezioni pressoinflesse agli stati limite ultimi. Diagrammi momento-

curvatura. Duttilità delle sezioni inflesse. Cerniera plastica e rotazione plastica ammissibile per elementi inflessi in c.a. Esempi.

#### 5. Stati limite di servizio per travi in c.a.

Evoluzione del quadro fessurativo per elementi tesi in c.a. Diagramma momento-curvatura in fase fessurata. Calcolo apertura di fessura e frecce in fase fessurata. Formule approssimate e prescrizioni normative. Deformazioni differite nel calcestruzzo (ritiro e viscosità). Teoria della viscoelasticità lineare. Funzioni di viscosità e di rilassamento. Il fenomeno dell'invecchiamento, modelli CEB ed ACI, normativa italiana. Metodi algebrizzati (metodi EM, MS, AAEM). Modelli reologici. Problemi strutturali sensibili alle deformazioni differite. Principi della viscoelasticità lineare. Esempi numerici.

#### 6. Analisi a collasso delle strutture

Definizione di cerniera plastica e massima rotazione in fase plastica in elementi in acciaio ed in c.a. Analisi limite di strutture intelaiate. Teoremi dell'analisi limite. Metodo della delimitazione bilaterale di Greenberg-Prager. Analisi incrementale al passo per strutture in acciaio. Redistribuzione dei momenti. Influenza dello sforzo normale. Modellazione strut-and-tie per corpi tozzi in c.a.: Zone B e D (diffusione), criteri di progetto per le zone di diffusione dei carichi, tralici resistenti, zone nodali, fattori di efficienza per puntoni in c.a.. Esempi.

#### 7. Instabilità delle strutture

Generalità. Matrice di rigidità geometrica per strutture piane. Instabilità in regime elastoplastico di strutture in acciaio. Il concetto di asta reale e di imperfezione equivalente.

#### 8. Instabilità di pilastri in c.a.

Il metodo della colonna modello. Il metodo dello stato di equilibrio. Diagrammi di interazione M-N in presenza di effetti del II ordine. Esempi di applicazione alle strutture prefabbricate. Plinti a pozzetto per pilastri prefabbricati: criteri di dimensionamento e prescrizioni costruttive.

#### 9. Metodi computazionali per il calcolo delle strutture

Metodi variazionali e applicazione alla teoria delle strutture. Principi energetici. Teorie strutturali (teoria di Eulero-Bernoulli, teoria di Timoshenko, teoria di Kirchhoff). Metodi numerici di approssimazione (serie di Fourier, metodo di Ritz). Il metodo degli elementi finiti. Elementi finiti tipo *truss*, tipo *beam*, elementi finiti per problemi piani di elasticità (CST, LST, lagrangiani, etc.). Elementi finiti per lastre inflesse e gusci assialsimmetrici. Elementi finiti in problemi di dinamica; Analisi modale ed integrazione nel tempo. Algoritmi di calcolo per problemi non lineari (rigidezza secante, Newton-Raphson, etc). Programmazione in ambiente MATLAB (Esercitazioni).

#### 10. Rinforzo mediante placcaggio di elementi in c.a.

Tecniche di rinforzo di elementi in c.a. con acciaio o lamine in composito (placcaggio di travi come rinforzo a flessione o a taglio, fasciatura di pilastri). Esempi di applicazione. Modalità di crisi, il problema della lunghezza di ancoraggio. Criteri di dimensionamento.

#### Bibliografia essenziale:

Dispensa del corso.

P. POZZATI e C. CECCOLI, *Teoria e Tecnica delle strutture*, ed. UTET, Torino, vol. II (1977).

O. BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, ed. Zanichelli, Bologna, voll. II e III.

F. LEONHARDT, *c.a. & c.a.p.: calcolo di progetto & tecniche costruttive*. Edizioni Tecniche, Milano, voll. I-III, 1977.

- A. MIGLIACCI, *Progetto agli stati limite delle strutture in c.a.*, Masson Italia Ed., Milano, 1977.  
 A. MIGLIACCI, *Progetti di strutture*, Tamburini, Milano, 1968.  
 E. COSENZA e C. GRECO, *Il calcolo delle deformazioni nelle strutture in cemento armato*. CUEN, Napoli, 1996.

## TECNICA DELLE COSTRUZIONI MECCANICHE L

FO, cds: clm

Docente: **Dario Croccolo** prof. ass.

### Parte prima: aspetti generali

Introduzione allo studio di un sistema meccanico.

Analisi delle funzioni e relative sottofunzioni, rappresentazione delle relazioni cinematiche e dinamiche tra gli elementi di macchina.

Studio degli equilibri tra i corpi rigidi.

Lavoro e potenza, trasmissione del moto e dell'energia tra gli elementi. Caratteristiche morfologiche dei componenti meccanici. Analisi dei carichi agenti sui componenti meccanici. Modelli strutturali per l'analisi delle condizioni di carico e degli stati di sollecitazione. Concentrazione delle tensioni e metodi di valutazione. Tensioni residue e tensioni termiche. Modalità di collasso di componenti meccanici per danneggiamento strutturale: cedimento sotto carichi statici e dinamici. Richiami sulle ipotesi di resistenza dei materiali in caso di sollecitazioni di tipo statico.

La fatica nei materiali metallici: curve di Wöhler, diagrammi di Goodmann-Smith, diagrammi di Haigh e rette di Goodmann; effetto della finitura superficiale, delle dimensioni, del gradiente delle tensioni, delle concentrazioni delle tensioni, del materiale. Ipotesi di resistenza dei materiali in caso di sollecitazioni di tipo dinamico. Calcolo della resistenza a fatica per condizioni di carico variabile in ampiezza.

### Parte seconda: applicazioni

Ruote dentate cilindriche a denti dritti: modalità di verifica a flessione al piede ed a usura, sollecitazioni indotte sugli alberi. Ruote coniche a denti dritti: modalità di verifica a flessione al piede ed a usura, sollecitazioni indotte sugli alberi. Ruote dentate cilindriche a denti elicoidali: modalità di verifica a flessione al piede ed a usura, sollecitazioni indotte sugli alberi.

Collegamenti filettati e viti di manovra: calcolo statico.

Saldature: calcolo statico.

Cuscinetti a rotolamento: tipologie, criteri di scelta e di montaggio.

Calcolo degli alberi rotanti. Sistemi di collegamento albero-mozzo: linguette e loro dimensionamento. Elementi di calcolo di collegamenti forzati. Cenni su altri tipi di collegamenti stabili.

### Testo adottato

RC. JUVINALL, K.M. MRSHEK, *Fondamenti della progettazione dei Componenti delle Macchine*, Ed. ETS, Pisa, 1993

### Testi di consultazione

R. GIOVANNONZI, *Costruzione di macchine*, vol. I e II, Patron, Bologna.

NIEMANN/WINTER, *Elementi di macchine*, vol. I, EST Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.



**TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI**

BO, cds: C, G\_BO, M

Docente: Marino Lupi prof. ord.

**Scopo e contenuto del corso:** il corso di Tecnica ed Economia dei Trasporti è un corso introduttivo e di base. Il corso ha come scopo, principale, quello di dare le conoscenze di base: di Ingegneria dei Sistemi di Trasporto, in particolare sulla domanda di trasporto; di Meccanica della Locomozione dei veicoli stradali e ferroviari; sulle caratteristiche funzionali fondamentali, e sui principali problemi di progetto, dei sistemi di trasporto terrestre: collettivo, su ferro e su gomma, e individuale stradale.

**LEZIONI**

Introduzione al corso di Tecnica ed Economia dei Trasporti: scopo e oggetto del corso.

**Parte prima: I SISTEMI DI TRASPORTO**

Definizione di sistema di trasporto. Il sottosistema della domanda e il sottosistema dell'offerta. Intereazione fra il sistema di trasporto e il sistema socioeconomico del territorio. Definizione di grafo e metodi di rappresentazione. Alcune caratteristiche dei grafi. Definizione di rete di trasporto: costi degli archi e costi dei percorsi. Schematizzazione del sistema dell'offerta di trasporto come rete di trasporto: rappresentazione delle intersezioni semaforizzate, i comparti ambientali, la classificazione delle strade urbane, la schematizzazione delle fermate del sistema di trasporto pubblico.

**Parte seconda: LA DOMANDA DI TRASPORTO****Generalità sulla domanda di trasporto.**

Caratterizzazioni della domanda di trasporto: soggetti che si spostano, motivo dello spostamento, tempo dello spostamento, origine e destinazione dello spostamento, modo di trasporto utilizzato, itinerario utilizzato. Metodi di determinazione della domanda di trasporto.

**Modelli di domanda.**

Classificazione dei modelli di domanda: modelli descrittivi e comportamentali; modelli aggregati e disaggregati. Fasi di messa a punto di un modello di domanda: specificazione, calibrazione, corroborazione. Esempi di modelli descrittivi: i macromodelli di domanda e i modelli gravitazionali. Elasticità della funzione di domanda. Modelli comportamentali: ipotesi fondamentali dei modelli di utilità aleatoria. La variabile aleatoria di Weibul-Gumbel. Il modello logit. Osservazioni sulla specificazione di un modello logit. Difetti del modello logit.

**Domanda di trasporto in area urbana.**

Il sistema di modelli a 4 stadi. Il modello di generazione degli spostamenti. Il modello di distribuzione degli spostamenti. Il modello di scelta modale. Il modello di scelta dell'itinerario. Assegnazione a costi costanti rispetto ai flussi. Assegnazione tutto o niente: l'algoritmo di Dijkstra e l'algoritmo di L-deque. Assegnazione stocastica di tipo logit: l'algoritmo di Dial. Assegnazione stocastica di tipo probit: procedimento di simulazione.

**Calcolo della domanda di trasporto.**

Stima diretta della domanda di trasporto. La stima campionaria della domanda: proprietà degli estimatori, stime per intervallo, campione stratificato. Calibrazione di un modello di utilità aleatoria: metodo della massima verosimiglianza. Verifica di un modello di utilità aleatoria: test di ipotesi sui parametri del modello, statistica rho-quadro. Il modello di regressione lineare per la

stima dei parametri di un modello di domanda. Stima del vettore dei parametri del modello: l'estimatore dei minimi quadrati. Verifica di un modello di regressione lineare: il coefficiente di determinazione, il test "t di Student" sui singoli parametri del modello. Stima puntuale e per intervallo della domanda futura.

### **Parte terza: ELEMENTI DI MECCANICA DELLA LOCOMOZIONE DEI VEICOLI FERROVIARI E STRADALI**

Ruota ferroviaria e pneumatico stradale. Resistenze al moto. Resistenze al rotolamento: caso stradale, caso ferroviario; formule pratiche per il calcolo. Resistenza dell'aria: formula per il calcolo, coefficienti di forma. Formule globali pratiche per il calcolo delle resistenze ordinarie nel caso ferroviario. Resistenza dovuta alla pendenza. Resistenza dovuta alle curve. Gradi di prestazione di una linea ferroviaria. Equazione generale del moto: massa equivalente. Il fenomeno dell'aderenza: ruota motrice, ruota portante, ruota frenata. Variazione del coefficiente di aderenza con lo scorrimento: caso ferroviario; caso stradale: superficie asciutta, superficie scivolosa. Valori pratici dell'aderenza nel caso ferroviario e in quello stradale. Moto in curva dei veicoli stradali e ferroviari: aderenza trasversale e svio; relazione fra velocità, raggio della curva circolare e pendenza trasversale. Formula di Pochet per la condizione di svio. Spazio di frenatura e di arresto nel caso stradale e in quello ferroviario. Peso frenato di un veicolo ferroviario. Caratteristica meccanica di trazione ideale. Curve caratteristiche di trazione di veicoli ferroviari. Trasmissione meccanica in un veicolo con motore a combustione interna: rapporti al cambio. Curve caratteristiche di trazione di veicoli equipaggiati con motore endotermico. Integrazione dell'equazione generale del moto: diagramma di trazione. Fasi del moto: avviamento, regime, lancio, frenatura. Forme del diagramma di trazione: caso triangolare, caso trapezio, caso con fase di lancio.

### **Parte quarta: IL SISTEMA DI TRASPORTO COLLETTIVO**

Classificazione dei diversi sistemi di trasporto collettivo urbano: autobus, filobus, tram, ferrovia metropolitana. Sistema di trasporto collettivo con marcia strumentale. Sistemi di controllo della circolazione per una linea ferroviaria: il blocco automatico; il blocco automatico a correnti codificate delle Ferrovie dello Stato; il blocco mobile. Distanziamento minimo e capacità di una linea ferroviaria omotachica. Sistema di trasporto collettivo con marcia a vista: tempo al giro, numero di autobus necessario per eseguire un dato servizio.

### **Parte quinta: IL SISTEMA DI TRASPORTO INDIVIDUALE STRADALE**

Condizioni di flusso ininterrotto e condizioni di flusso interrotto. Relazioni fra le variabili macroscopiche di una corrente veicolare in moto ininterrotto; modelli di: Greenshields, Greenberg, Underwood, North-Western University. Evoluzione delle curve di deflusso per le autostrade nelle varie edizioni del Manuale della Capacità (HCM). Volume e portata nella circolazione stradale: il fattore dell'ora di punta. Definizione di capacità, livello di servizio, portata di servizio secondo l'HCM. Determinazione del livello di servizio delle autostrade secondo l'HCM.

### **Parte sesta: L'ANALISI COSTI-BENEFICI PER LA SCELTA FRA PROGETTI ALTERNATIVI**

Il problema della scelta fra le alternative progettuali. Fasi della valutazione: definizione degli obiettivi, individuazione delle alternative, misura degli impatti, scelta della alternativa migliore. L'analisi Costi-Benefici. Il calcolo dei costi e dei benefici. Il "Surplus" degli utenti. Gli indicatori dell'analisi Costi-Benefici: il valore attuale netto (VAN) e il saggio di rendimento interno (SRI).

### **ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni consistono: in esempi ed applicazioni degli argomenti in programma e nella

redazione di un progetto di un servizio di trasporto collettivo. A questo ultimo fine gli studenti sono riuniti in gruppi, composti di non più di quattro allievi: ciascun gruppo deve preparare un elaborato che è sottoposto alle revisioni di un tutore. La guida metodologica per la redazione del progetto è costituita da spiegazioni effettuate in aula e dalle discussioni e verifiche, delle soluzioni progettuali proposte, effettuate dai tutori.

### **LEZIONI DI SPIEGAZIONE DEL PROGETTO TENUTE IN AULA (Queste lezioni sono tenute dall'ing. Federico Rupi)**

Zonizzazione ed estrazione del grafo. Determinazione della matrice origine-destinazione. Algoritmo di assegnazione utilizzato per il progetto. Resistenze al moto e forza propulsiva nel caso di un autobus urbano. Definizione di velocità media, commerciale e di esercizio: dimensionamento del servizio di trasporto collettivo e orario grafico. Analisi economica di una azienda di trasporto collettivo: calcolo dei costi e dei ricavi per la linea assegnata.

#### *Testi consigliati:*

CANTARELLA G. E. (a cura di), *Introduzione alla Tecnica dei Trasporti e del Traffico con elementi di Economia dei Trasporti*. UTET, Torino.

LUPI M., *La Domanda di Trasporto (appunti dalle lezioni di Tecnica ed Economia dei Trasporti)*. DISTART - Trasporti, Bologna.

MICUCCI A. e BOTTAZZI A., *Guida alla Progettazione di un Servizio di Trasporto Pubblico Urbano in una Città di Medie Dimensioni*. Pitagora Editrice Bologna.

ORLANDI A., *Meccanica dei Trasporti*. Pitagora Editrice Bologna.

**ESAME:** orale con discussione del progetto elaborato dagli allievi

### **TECNICA URBANISTICA**

Docente: **Alberto Corlaita** prof. ord.

**BO, cds: D**

L'insegnamento è articolato in due moduli, di pari importanza, che contribuiscono a formare la valutazione finale in sede d'esame: le lezioni teoriche e le esercitazioni applicative.

#### *Lezioni*

Le lezioni sono strutturate in quattro gruppi e trattano delle tematiche fondamentali della disciplina. Urbanistica, dalla scala della città a quella del territorio; hanno la finalità di mettere lo studente in grado di conoscere le origini e le evoluzioni, fino ai più recenti sviluppi, delle tecniche necessarie per analizzare, valutare, pianificare e progettare gli interventi sulla città e sul territorio.

#### *Gli strumenti per il governo del territorio*

Vengono introdotti gli elementi fondativi e formativi che hanno con figurato la disciplina dell'urbanistica moderna, con un riferimento particolare all'uso dello zoning, diffusosi con il Razionalismo, ed alle attuali proposte per un suo superamento. Viene quindi trattato il Piano Regolatore Generale, nella sua evoluzione più recente di forma, contenuti e modalità di redazione ed attuazione.

#### *La legislazione urbanistica*

Vengono esaminate in sequenza temporale le principali leggi urbanistiche vigenti in Italia, al fine di evidenziarne il processo evolutivo ed i problemi irrisolti, tra cui quello del regime dei suoi

e dell'esproprio, in parallelo anche con la strumentazione e le politiche urbanistiche dei principali Paesi della Comunità Europea. Vengono fornite nozioni elementari di Economia e di Econometria urbana, con particolare riferimento agli standard urbanistici ed agli oneri di urbanizzazione.

#### *Elementi di analisi e progettazione della città e del territorio*

Tratta dei problemi connessi alla "forma" urbana, come mezzo di conoscenza e comprensione dell'evoluzione delle aree urbane e metropolitane ai fini di una loro corretta pianificazione e tutela. L'evoluzione della attenzione "centri storici" viene esaminata come acquisizione dei concetti di "salvaguardia" e "recupero" funzionale e formale delle testimonianze storico-artistiche alla scala della città. Il superamento della dimensione urbana tende a mettere in luce il fondamentale ruolo attuale di regioni e provincie nella programmazione, pianificazione e governo del territorio.

#### *Paesaggio e ambiente: attuali obiettivi per l'urbanistica*

Vengono trattate le problematiche relative al controllo e alla pianificazione dell'ambiente complessivo dell'uomo, con particolare attenzione alla componente Paesaggio nonché agli strumenti esistenti per la sua tutela e pianificazione. La procedura di Valutazione d'Impatto Ambientale con le sue metodologie e tecniche specifiche, vengono analizzate in ordine alla loro applicabilità alla scala territoriale ed urbana. Vengono esposti i fondamenti della pianificazione ambientale o "ecologica", le metodologie e le tecniche specifiche, con l'ausilio di alcuni casi applicativi alla scala territoriale e urbana.

#### *Esercitazioni*

Scopo delle esercitazioni pratiche è quello di iniziare lo studente all'applicazione delle tecniche più elementari di analisi, interpretazione e progettazione alla scala urbanistica (di quartiere o di settore urbano).

*Esame:* scritto e orale.

#### *Bibliografia consigliata*

- ABRAMI G., *Progettazione ambientale: una introduzione*, CLUP, Milano, 1987.  
 BENEVOLO L., *Storia dell'architettura moderna*, Laterza, Bari, 1971 (Capp. III-XI-XV e Conclusioni).  
 BETTINI V., *Elementi di analisi ambientale per urbanisti*, CLUP-CLUED, Milano, 1986.  
 CULLEN G., *Il paesaggio urbano - morfologia e progettazione*, Calderini, Bologna, 1976.  
 ERBA V., *Il piano urbanistico comunale*, Ed. delle Autonomie, Roma, 1993.  
 MONTI C., *Elementi di urbanistica* (Nuova ed.), Ed. CLUEB, Bologna, 1994.  
 MORBELLI G., *Un'introduzione all'urbanistica*, F. Angeli, Milano, 1986 (Capp. 1-2-7).  
 RONZANI G., *L'insediamento urbano - i costi e gli oneri*, Maggioli, Rimini, 1984.  
 RONZANI G., *Valutazione ambientale e piani urbanistici*, CLUEB, Bologna, 1992.

## **TECNICA URBANISTICA II**

**BO, cds: R, D, G\_BO**

Docente: **Giovanni Crocioni** prof. ass.

### **OBIETTIVI E CONTENUTI GENERALI**

Il Corso ha l'obiettivo di fornire elementi fondamentali di consapevolezza sui problemi attuali della pianificazione territoriale e urbanistica.

Il Corso punta, per questo motivo, a garantire in termini di primo inquadramento, sia una padronanza complessiva dei problemi della città e del territorio, a livello culturale e conoscitivo, che un adeguato controllo delle tecniche strumentali ed operative, fornendo, sia pure in sintesi, un primo quadro completo della problematica disciplinare.

## Parte Prima

### I. I PROBLEMI ATTUALI DELLA CITTÀ E DEL TERRITORIO

- 1 - Cenni introduttivi.  
Necessità di collocare la problematica urbanistica all'interno di processi storici determinati.
- 2 - Inquadramento storico.
  - 2.1 - Il mondo antico e la città.
  - 2.2 - La città nell'Europa del medioevo e la rivoluzione industriale.
  - 2.3 - Il caso italiano. La città e il territorio dallo Stato Unitario al secondo dopoguerra.
- 3 - Il rapporto città-campagna nell'Italia del dopoguerra.
  - 3.1 - I dati di fondo e le fasi strutturali del rapporto città-campagna negli ultimi cinquant'anni.
  - 3.2 - La città e il territorio nella trasformazione economica del paese.
  - 3.3 - Il rapporto nord-sud; gli squilibri territoriali; le tre Italie.
  - 3.4 - L'urbanesimo, la diffusione insediativa e le tendenze recenti.
  - 3.5 - La casa e il settore delle costruzioni nel ciclo economico complessivo.
  - 3.6 - La rendita fondiaria, il mercato dei suoli ed il mercato immobiliare.
  - 3.7 - L'interpretazione dei processi territoriali: dai modelli dualistici alla complessità delle tendenze in atto.
  - 3.8 - Il caso emiliano. L'uso del territorio nelle regioni ad economia periferica.

La prima parte "I problemi attuali della città e del territorio" ha il compito di mettere a fuoco in sintesi i processi territoriali, sotto il profilo di una analisi dei modi, delle linee di tendenza e dei nessi strutturali di tali processi.

Il rapporto città-campagna nell'Italia del dopoguerra viene riguardato come una chiave interpretativa da cui far discendere le necessarie valutazioni di ordine culturale, disciplinare e tecnico, relative alla pianificazione territoriale e urbanistica.

Questa parte caratterizza l'intero Corso, chiarendo, in definitiva, l'insieme dei presupposti e delle premesse concettuali del processo di pianificazione se nello stesso tempo i problemi di merito sui quali occorre operare concretamente, anche nella pratica professionale.

## Parte Seconda

### III. L'URBANISTICA COME PIANIFICAZIONE

- 1 - Introduzione ai temi fondamentali della politica di piano.
  - 1.1 - Alcune definizioni del concetto di pianificazione.
  - 1.2 - Cenni di esperienze di rilievo condotte in questo secolo in materia di pianificazione.

## 2 - La politica di piano nell'esperienza italiana.

2.1 - L'assetto istituzionale ed il quadro delle competenze in materia di pianificazione e programmazione. Dallo stato centrale, alle regioni, alle autonomie locali. L'ipotesi federalista.

2.2 - La legislazione urbanistica e la legislazione per la casa. Una lettura dei principali provvedimenti legislativi in questo dopoguerra e della loro evoluzione: dalla legge 1150 del 1942 alla legge 142 del 1990, fino ai provvedimenti più recenti. Le legislazioni urbanistiche regionali.

2.3 - I livelli di pianificazione.

2.4 - Il livello nazionale:

2.4.1 - L'esperienza italiana nel dopoguerra. La riforma agraria e l'intervento straordinario nel Mezzogiorno. La filosofia della programmazione nella esperienza del Centro-Sinistra. La politica di piano a livello nazionale degli anni '80 e '90. Le attuali incertezze sulle politiche per la città.

2.4.2 - L'evoluzione del dibattito culturale e tecnico dal 1960 ad oggi, relativamente alla politica di programmazione ed alla politica del territorio a livello nazionale.

2.5 - Il livello regionale:

2.5.1 - L'esperienza pre-regionalista. L'esperienza delle regioni nelle prime cinque legislature 1970-1995. Le tendenze attuali. La programmazione regionale e la pianificazione territoriale in Emilia Romagna ed in altre regioni italiane. Il Piano Territoriale Regionale e il Piano Paesistico Regionale.

2.5.2 - Gli strumenti e le tecniche della programmazione economica e della pianificazione territoriale di livello regionale nelle esperienze reali. L'analisi delle risorse, l'uso degli strumenti statistici, i criteri di elaborazione degli obiettivi. La pianificazione strategica.

2.6 - Il livello dell'ente intermedio:

2.6.1 - Il dibattito urbanistico sul ruolo dell'ente intermedio. L'esperienza dei Comprensori in Emilia Romagna ed in altre regioni del decennio 1960-1970. Il ruolo attuale della Provincia, a partire dalla Legge 142/90.

2.6.2 - La problematica tecnica del piano di area vasta. Piano territoriale e piano socio-economico. Le compatibilità ambientali nella dimensione territoriale. Natura e contenuti del piano territoriale. Gli strumenti di analisi e di intervento. Una verifica di alcune esperienze in atto. Il Piano come processo, e la pianificazione strategica.

2.7 - L'urbanistica di livello comunale:

2.7.1 - Ruolo e spazio dell'urbanistica comunale nell'attuale fase e nelle esperienze degli anni '60 e '70. Limiti ed efficacia del Piano Regolatore Generale e degli strumenti propri dell'urbanistica comunale. Il P.R.G. come strumento centrale del processo di pianificazione urbanistica. I programmi urbani complessi degli anni '90.

2.7.2 - Come si costruisce un P.R.G.: le scelte di assetto, l'utilizzo dell'economia urbana, i fabbisogni ed il dimensionamento, la normativa, lo zoning, gli standards urbanistici, gli indici ed i parametri. Gli strumenti di gestione: procedure, convenzioni, oneri di urbanizzazione. La costruzione dei Programmi complessi, la concertazione e la negoziazione, i rapporti con il mercato, la razionalizzazione delle risorse pubbliche.

La seconda parte "L'urbanistica come pianificazione" ha il compito di inquadrare correttamente la politica del territorio all'interno della situazione italiana. L'urbanistica viene vista prima di tutto come pianificazione, cioè come strategia e pratica di governo territoriale. In tal senso un ruolo centrale assumono, evidentemente, i problemi delle competenze istituzionali, dei livelli di pianificazione e della legislazione urbanistica, in sintesi della capacità di governo del territorio nella società "complessa" degli anni '80 e '90.

## ESERCITAZIONI

I contenuti delle lezioni vengono integrati dalle esercitazioni pratiche, tenute in gruppo, sotto il controllo e con l'aiuto di un Assistente, sui temi di ricerca ricondotti al presente programma.

Compito delle esercitazioni è, evidentemente, quello di garantire un minimo di padronanza tecnica effettiva, attraverso lo svolgimento di una serie di operazioni di ricerca, analisi e proposta di pianificazione, su un campo reale e con interlocutori esterni.

La partecipazione alle esercitazioni è obbligatoria, ed i risultati saranno materia d'esame.

### Testi essenziali

G. CROCIONI, *Il Piano utile. Un'urbanistica del mercato ragionevole ed efficace*, Gangemi Editore, 1997.

G. CROCIONI, M. TAROZZI, *Urbanistica e cooperazione a Bologna 1889-1985. Cento anni di vite parallele*, Gangemi Editore, 1999.

## MODALITÀ DELL'ESAME

L'esame si svolge sui temi affrontati nell'ambito complessivo del Corso, con particolare riferimento alla legislazione urbanistica ed alle tematiche affrontate nelle esercitazioni.

Per quanto riguarda gli argomenti trattati nelle lezioni l'esame farà riferimento alla bibliografia specifica del Corso.

## TECNICHE DI PRODUZIONE E CONSERVAZIONE DEI MATERIALI EDILIZI

BO, cds: D

Docente: Marco D'Alesio prof. inc.

### PREMESSA

Il comparto della manutenzione è stato protagonista nell'ultimo ventennio, di una forte evoluzione: ha sviluppato e ampliato il suo campo di applicazione; è stato coinvolto in un processo di trasformazione del corpo normativo; ha mutato la coscienza imprenditoriale in grado di rispondere ad una domanda più articolata ed esigente.

Da "cenerentola" del settore delle costruzioni ha assunto un ruolo primario spostando il suo interesse da una politica di interventi sul costruito, finalizzata al semplice ripristino delle prestazioni fornite dai sistemi edilizi ed impiantistici, verso una politica di gestione dei patrimoni immobiliari che assume come obiettivo primario la sua redditività economico-sociale.

Tutto ciò è portato a sviluppare metodologie e strumenti di gestione del patrimonio in grado di determinare la qualità di riferimento e i costi relativi di un organismo edilizio durante il suo ciclo di vita utile.

### Finalità e contenuti del corso

L'obiettivo del corso è quello di fornire: da un lato un quadro generale sulle politiche di gestione adottate dai grandi proprietari di patrimoni immobiliari sia pubblici che privati, alla luce anche delle esperienze sia italiane che straniere e di analizzare le nuove figure professionali che gravitano intorno al comparto della manutenzione; dall'altro le conoscenze tecniche sui materiali edilizi per la definizione delle strategie manutentive e degli interventi di manutenzione da adottare per la conservazione del patrimonio edilizio esistente e per la progettazione dei sistemi edilizi per il mantenimento di un prefissato livello di qualità durante il loro ciclo di vita utile.

**Argomenti trattati**

Il mercato della manutenzione italiano ed estero.

Le politiche di outsourcing da parte degli enti pubblici e privati.

Le modalità di riorganizzazione del mondo imprenditoriale conseguente alla nuova domanda da parte della committenza.

Le nuove figure professionali: il property manager e il facility manager.

La qualità globale: la manutenzione programmata

Definizione e classificazione delle strategie manutentive, in relazione al livello di qualità funzionale richiesto per l'organismo edilizio e alla finalità degli interventi sul patrimonio.

La normativa di riferimento sulla definizione e classificazione delle strategie manutentive:

- Legge n. 47/78

- Le norme UNI

- La legge quadro sui lavori pubblici e il relativo regolamento di attuazione.

Il Life Cycle Costing: valore di un bene nel suo ciclo di vita utile.

Gli strumenti e le procedure per l'attuazione della gestione globale:

**La progettazione della manutenzione:**

- la manutenzione nella fase progettuale del processo edilizio;

- i requisiti di manutenibilità e di gestione degli elementi tecnici

- la normativa di riferimento;

- gli elaborati di progetto per la gestione della manutenzione (manuali d'uso, manuali di manutenzione, ecc.).

**La progettazione del servizio di manutenzione:**

Definizione e contenuti del Global Service nella gestione del patrimonio.

La strumentazione operativa della gestione globale: gestione economica, la gestione tecnica e la gestione finanziaria.

La fasi del processo di gestione globale:

- le aree funzionali del servizio globale di manutenzione;

- il ruolo del servizio informativo nella gestione della manutenzione

- la contrattualistica: il capitolato speciale di manutenzione; il contratto di manutenzione

- la normativa UNI sulla qualità, sui criteri di organizzazione, sugli strumenti e sulle procedure per la definizione e la conduzione di un servizio di manutenzione;

- l'organizzazione di un'impresa di manutenzione nella realtà italiana e nelle esperienze straniere;

- case study.

La produzione e la conservazione della componentistica dei sistemi tecnologici dell'organismo edilizio sulla base dei requisiti di affidabilità, efficienza, efficacia, durabilità: le strutture verticali, orizzontali ed inclinate; l'involucro; le partizioni interne; i collegamenti verticali.

Classificazione, contenuti e modalità esecutive degli interventi di manutenzione degli elementi di fabbrica dell'apparecchiatura costruttiva di un sistema edilizio sulla base delle patologie riscontrabili e del livello di degrado.

**Esercitazioni**

Le esercitazioni prevedono l'elaborazione di un piano di manutenzione di un organismo edilizio sia di nuova costruzione che esistente, secondo le indicazioni fornite dalla legge quadro sui lavori pubblici.

Il corso prevede oltre alle lezioni in aula, seminari su temi specifici in collaborazione con enti pubblici e privati e con il mondo imprenditoriale.



**Modalità di svolgimento degli esami**

Prova orale sugli argomenti trattati nelle lezioni.

**TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA**

BO, cds: D

Docente: Franco Sandrolini prof. ord.

Il corso si propone di fornire agli ingegneri edili uno strumento razionale ed unitario per l'impiego corretto dei materiali nelle costruzioni, per la previsione delle condizioni di degrado in servizio, per la protezione dei materiali dal degrado e dal fuoco e per la valutazione della sicurezza nell'impiego.

**Programma**

Tipologia e caratteristiche dei materiali per l'edilizia e l'architettura: materiali strutturali e materiali funzionali. Classificazione e sviluppo storico e tecnologico dei materiali da costruzione.

Richiami sulle proprietà fisico-meccaniche dei materiali (resistenza caratteristica e microstruttura, processi di deformazione elastica, anelastica e plastica, processi di frattura) e sulle proprietà termiche ed elettriche. Metodi di prova, Norme Tecniche Min. LL. PP. e normative prestazionali.

Materiali metallici. Ghise ed acciai. Acciai da costruzione e speciali. Trattamenti termici e saldatura. Saldabilità. Leghe non ferrose per l'edilizia. Impieghi e normativa.

I leganti per l'edilizia e l'architettura: gesso, calci, cementi. Malte ordinarie e speciali, normativa. Calcestruzzi e conglomerati cementizi normali e speciali. Componenti, tecnologia, proprietà allo stato fresco ed indurito. Calcestruzzo preconfezionato a resistenza, controllo di qualità e criteri di posa in opera. Normativa sui cementi, sugli aggregati, sui calcestruzzi. Capitolati di fornitura.

Materiali ceramici e vetri per l'edilizia. Tecnologia, caratteristiche, prestazioni e normativa.

Materie plastiche, resine e materiali compositi impiegati nelle costruzioni (impermeabilizzanti, isolanti termici ed acustici, sigillanti, adesivi, rinforzi, etc.). Vernici e pitture. Caratteristiche e normativa. Cenni al legno ed ai derivati.

Acque, suolo ed ambiente. Degrado e corrosione dei materiali da costruzione in servizio. Classi di esposizione ambientale materiali da costruzione e progettazione. Protezione e compatibilità (fisica e chimica) tra i materiali. Normativa e legislazione.

Sicurezza nell'impiego dei materiali. Resistenza al fuoco. Criteri di scelta dei materiali per l'edilizia. Cenni alle problematiche del riciclo dei materiali da costruzione e alla ecocompatibilità.

*Esercitazioni e laboratorio:* applicazioni numeriche in aula; prove sui materiali in laboratorio (coordinate anche con altri insegnamenti per gruppi a numero limitato di studenti) e seminari coordinati all'interno del laboratorio progettuale di Tecnologie per l'edilizia (N. O.).

*Esame:* prova orale, preceduta dallo svolgimento di un elaborato tecnico a finalità applicativa assegnato dal docente, la cui valutazione concorre alla valutazione finale orale. Fogli ufficiali per le liste vengono affissi all'albo del Dipartimento di Chimica applicata e Scienza dei materiali il giorno precedente a quello degli appelli.

**Testi consigliati:**

M. ILLSTON (ed.) *Construction materials*. E & F Spoon, London 1994.

N. JACKSON (ed.) *Civil engineering materials*. MacMillan Press, London 1983.

G. RINALDI *Materiali e chimica applicata*. Siderea, Roma 1996.

V. ALUNNO ROSSETTI *Il Calcestruzzo. Materiali e tecnologie*. McGraw-Hill Libri Italia s. r. l., Milano 1995.

*Norme Tecniche emanate dal Min. LL. PP. sui materiali da costruzione* (D. M. 09.01.96, D. M. 20.11.87, Circ. 24.05.82, n. 2263; altre vengono segnalate a lezione).

*Propedeuticità consigliate*: Scienza delle Costruzioni. Elettrotecnica. Fisica tecnica.

*Argomenti per tesi di laurea*: su tutti gli argomenti del corso con finalità applicative, con particolare riguardo ai settori della tecnologia, controllo di qualità e durabilità del calcestruzzo pre-confezionato a resistenza; alle applicazioni dei materiali e delle tecnologie costruttive; ai materiali composti da costruzione; ai processi di degrado e le implicazioni sulla progettazione, con preferenza per casi concreti e reali. Gli argomenti di ogni tesi vengono definiti mediante colloquio col docente e coordinati anche con altri docenti del CdL.

## **TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA L**

**BO, cds: C**

Docente: Paolo Colombo prof. ass.

**Scienza dei Materiali**: Costituzione e struttura dei vari tipi di materiali, e relazioni con le loro proprietà. Proprietà meccaniche: deformazione elastica e plastica, processi di frattura. Metodi di prova e normativa.

**Materiali Metallici**: Leghe ferro-carbonio. Acciai di base e di qualità. Acciai per carpenteria metallica, acciai per armature. Trattamenti termici. Corrosione e protezione delle strutture metalliche. Normativa.

**Materiali Leganti**: Leganti aerei, leganti idraulici. Cemento Portland: idratazione presa ed indurimento. Microstruttura della pasta di cemento indurita, porosità, resistenza meccanica, stabilità dimensionale. Cementi di miscela. Normativa. Calcestruzzo: generalità, mix-design. Aggregati: proprietà e normativa. Proprietà del calcestruzzo fresco ed indurito. Additivi per calcestruzzo. Degrado e durabilità delle opere in calcestruzzo. Normativa europea.

**Materiali Polimerici**: Materiali termoplastici e termoindurenti e loro proprietà. Impieghi in edilizia.

**Materiali Ceramici e Vetri**: prodotti tradizionali per uso edilizio. Caratteristiche, prestazioni e normativa.

*Testo consigliato*:

Dispense delle lezioni (a disposizione presso la Biblioteca di Ingegneria)

L. BERTOLINI e P. PEDEFERRI, *Tecnologia dei Materiali: Leganti e Calcestruzzo*. Nuova edizione. Città Studi Edizioni (UTET), Torino, 2000.

*Testi per consultazione*:

AA.VV. (a cura di AIMAT), *Manuale dei Materiali per l'Ingegneria*, MacGraw-Hill Libri Italia s.r.l., Milano, 1996

L. BURLAMACCHI, *Capire il calcestruzzo*. Hoepli, Milano, 1994

**Modalità di svolgimento dell'esame**: prova scritta.

**TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA L**

CE, cds: dud

Docente: Maria Chiara Bignozzi ric.

*Programma*

Tipologia dei materiali per l'edilizia: materiali strutturali e materiali funzionali.

Materiali metallici. Ghise ed acciai. Acciai da costruzione e speciali. Trattamenti termici. Saldabilità. Lehe non ferrose per l'edilizia. Impieghi e normativa.

I leganti per l'edilizia ed il restauro: gesso, calci e cementi. Calcestruzzi e conglomerati cementizi. Tecnologia, proprietà e criteri di posa in opera del calcestruzzo preconfezionato. Additivi ed aggregati per calcestruzzo. Calcestruzzo a resistenza, resistenza caratteristica, tecnologia e controllo di qualità. Normativa sui leganti, sugli aggregati e sul calcestruzzo. Classi di esposizione ambientale del calcestruzzo. Durabilità del calcestruzzo. Normativa e legislazione.

Materiali ceramici e vetri per l'edilizia: caratteristiche, prestazioni e normativa.

Polimeri termoplastici e termoindurenti impiegati nell'edilizia e nel restauro (impermeabilizzanti, isolanti termici ed acustici, sigillanti, adesivi, etc.). Caratteristiche e normative.

Modalità di svolgimento dell'esame: orale

*Testi consigliati:*

G. RINALDI, *Materiali e Chimica Applicata*, Siderea, Roma.

V. ALUNNO ROSSETTI, *Il Calcestruzzo. Materiali e tecnologie*, McGraw-Hill Libri Italia, s.r.l. Milano.

L. BERTOLINI, P. PEDEFERRI et al., *Tecnologia dei Materiali*, Città Studi Edizioni.

**TECNOLOGIA DEI MATERIALI NUCLEARI**

BO, cds: N

Docente: Domiziano Mostacci prof. ass.

*Diagrammi di stato*

- sistemi binari; equilibrio liquido-solido con solubilità completa, regola della leva; solubilità completa allo stato liquido e parziale allo stato solido: eutettico, reazione peritettica; solubilità completa allo stato liquido e nulla allo stato solido: eutettoide; precipitazione in soluzione solida; trasformazione ordine-disordine; il diagramma di stato Fe-C.

*Proprietà dei materiali*

- i cristalli perfetti: molecolari, ionici, covalenti, metallici; i reticoli cristallini; fasi solide metalliche, soluzioni; difetti reticolari: di punto, di linea, di superficie, difetti di Frenkel, dislocazioni; conseguenze dei difetti: diffusione, plasticità e sorgenti di Frank-Reed; interazione fra dislocazioni: incrudimento; bordi di grano; interazione fra dislocazioni e precipitati ed atmosfere di Cottrell; invecchiamento.

*Aspetti cinetici delle trasformazioni di fase*

- effetti della temperatura; diffusione; solidificazione fuori dall'equilibrio; trasformazioni di stato in fase solida fuori dall'equilibrio; trasformazione martensitica; migrazione del carbonio all'interno del reticolo Fe-C; I diagrammi TTT; i trattamenti termici di addolcimento: ricotture, ingrossamento dei grani; i trattamenti termici di indurimento: tempra-rinvenimento-bonifica, trattamenti isotermitici.

**Comportamento meccanico dei materiali**

– deformazione elastica e deformazione plastica, frattura; fatica, curve di Wohler; creep, influenza della temperatura e della struttura cristallina sul creep; parametro di Larson-Miller.

**Compatibilità e corrosione**

– definizioni, tipi di corrosione; velocità di attacco; processi corrosivi a secco: ossidi permeabili e non permeabili, regola di Pilling-Bedworth; corrosione nei metalli fusi; processi corrosivi a umido: richiami di elettrochimica, catene galvaniche; aspetti stechiometrici, leggi di Faraday; aspetti termodinamici, tensione di elettrodo, serie elettrochimica; aspetti cinetici, passivazione e passività; aspetti morfologici e strutturali; metodi di prevenzione e protezione.

**Gli acciai inossidabili**

– diagrammi Fe-Cr e Fe-Ni, acciai ferritici, martensitici, austenitici; diagramma di Scheffler; come si designano gli acciai inossidabili; acciai martensitici: tipi, proprietà meccaniche, applicazioni; acciai ferritici: tipi, proprietà meccaniche, applicazioni, acciai ferritici ELI (extra low interstitial); acciai austenitici: tipi, proprietà meccaniche, applicazioni; acciai duplex; acciai industriali per precipitazione; i tipi di prodotti siderurgici.

**Lavorazioni per deformazione plastica**

– lavorazioni a caldo: laminazione a caldo, estrusione, fucinatura; lavorazioni a freddo: laminazione a freddo, trafilatura, profilatura, coniatura, piegatura, curvatura (di lamiere, nastri, tubi con diversi tipi di mandrino), imbutitura.

**Finiture superficiali**

– finiture dei prodotti finiti di acciaieria: finiture standard per laminazione, finiture standard per abrasione; finiture dei manufatti: finitura per abrasione, barilatura, pallinatura, sabbatura, lucidatura elettrolitica, elettroplaccatura, attacco chimico; colorazione degli acciai inossidabili: brunitura, colorazione (per rinvenimento, per immersione, per interferenza), pitturazione e smaltatura; sgrassaggio, decapaggio e decontaminazione; protezioni temporanee; pulizia e manutenzione delle superfici.

**Testi consigliati:**

PAOLO STROCCHI, *Tecnologia dei materiali nucleari*, ed. CLUEB, Bologna, 1979.

GABRIELE DI CAPRIO, *Gli acciai inossidabili*, III edizione, ed. Hoepli, Milano, 1997.

**Svolgimento degli esami**

L'esame è costituito da una prova orale nel corso della quale lo studente dovrà dimostrare di aver compreso i principi fondamentali trattati e dovrà saper applicarli a semplici problemi pratici.

**Indirizzo delle tesi di laurea:** Teorico, rivolto allo studio della posizione condizionante in cui vengono a trovarsi i materiali nella risoluzione di un particolare problema tecnico. Sperimentale, inteso allo studio ed alla caratterizzazione di materiali avanzati per applicazione nel campo dell'energetica.

**TECNOLOGIA MECCANICA****BO, cds: M**Docente: **Daniele Veschi** prof. ass.**Generalità**

Lo scopo del corso consiste nel fornire la conoscenza dei processi tecnologici per la trasformazione della geometria e delle proprietà dei materiali e per la fabbricazione dei componenti e dei prodotti

Non è richiesta alcuna propedeuticità. La conoscenza della rappresentazione degli stati tensionali secondo Mohr e dei diagrammi di stato delle leghe binarie è fortemente consigliata.

**Programma****MATERIALI, TRATTAMENTI TERMICI E PROVE MECCANICHE**

Richiami sulla costituzione della materia; legami atomici; materiali metallici e non metallici. Principali tipi di diagrammi di stato.

Il ciclo di vita delle leghe ferrose: la produzione della ghisa greggia, la fabbricazione dell'acciaio e la trasformazione dei lingotti in semilavorati.

Il diagramma Fe-C: Strutture del diagramma Fe-C e relative caratteristiche; diagramma Fe-C metastabile e stabile; la solidificazione delle leghe ferrose: nucleazione, accrescimento e formazione di grani.

Le ghise: tipi di ghisa, effetti della grafite e classificazione delle ghise; interventi sulla matrice; dipendenza delle caratteristiche della ghisa da matrice e grafite; interventi sulla matrice nelle ghise speciali; ghisa malleabile a cuore bianco ed a cuore nero, ghisa sferoidale.

Gli acciai: tipi, classificazione e nomenclatura; leganti degli acciai e modalità di alligazione; acciai speciali.

Trattamenti di modifica delle proprietà delle leghe ferrose: modalità di trasformazione e strutture al raffreddamento; curve TTT, curve CCT e loro significato; tempra: modalità di tempra, mezzi di tempra, limiti nel processo, tempra efficace; temprabilità, curva Jominy, curve ad U, banda Jominy ed influenza della percentuale di carbonio e delle dimensioni del grano austenitico; curve di Gerber-Wyss; rinvenimento e bonifica; bonifica isoterma; ricottura: completa, subcritica, di globulizzazione, isoterma; normalizzazione; trattamenti di indurimento superficiale: cementazione carburante, tempra diretta, unica e doppia dopo cementazione; carbonitrurazione; nitrurazione e acciai da nitrurazione; tempra superficiale mediante fiammatura ed induzione.

Caratterizzazione dei materiali e prove relative: Concetti di omogeneità ed isotropia; Limiti delle caratterizzazioni; Prova di trazione: macchine di prova, descrizione e analisi del diagramma Forza-corsa; normativa UNI; proprietà determinabili dal diagramma Forza-corsa, (tensioni reali e deformazioni logaritmiche).

Prova di compressione assialsimmetrica ed in deformazione piana (prova di Ford): scopi, modalità e problematiche. Prova di torsione: scopi, modalità.

Caratterizzazione dell'attrito con la prova dell'anello. Prova di durezza: Brinell, Vickers, Rockwell; microdurezza.

**FONDERIA**

Aspetti generali: La fusione e la solidificazione di metalli e leghe. Strutture di solidificazione. Ritiro, porosità e soffiature: genesi e rimedi. Tensioni di ritiro nei prodotti della fonderia. I prodotti: pani, lingotti e getti. Paniere e lingottiere. La colata dei lingotti.

Produzione dei getti: Staffe, modelli, anime, portate d'anima, casse d'anima. Colatoi, alimentatori, materozze.

- Formatura in terra: terre da fonderia e loro lavorazione. Formatura a verde e a secco. Formatura alla CO<sub>2</sub> e formatura a guscio. Formatura manuale a pressione in staffa, in falsa staffa e in motta. Formatura con sagoma in fossa e senza fossa. Formatura meccanica a pressione, con scosse o vibrazioni, a vibrocompressione, a lancio centrifugo e a lancio pneumatico.

- Formatura in conchiglia a gravità e sottopressione.

- Formatura a modello perso

- Colata centrifuga dei tubi.

- Difetti nei prodotti da fonderia.

- Cenni sui forni fusori.

## LAVORAZIONI PER DEFORMAZIONE PLASTICA

**Aspetti generali:** Deformabilità dei materiali e comportamento all'incrudimento. Leggi del materiale ed equazioni costitutive. Effetto della temperatura sulle lavorazioni. Lavorazioni a caldo e a freddo. Effetto della microstruttura. Attrito e lubrificazione. Effetto della pressione idrostatica. Lavorabilità. Tensioni residue.

**Richiami di teoria della plasticità:** Tensore delle tensioni e delle deformazioni. Cerchi di Mohr; componenti idrostatiche e deviatoriche delle tensioni. Deformazioni finite. Equazioni di continuità; Criteri di plastificazione (Tresca e Von Mises). Tensioni e deformazioni equivalenti. Lavoro specifico; equazioni generali in campo plastico. Flussi plastici stazionari e non stazionari; Stati di deformazione piana e assialsimmetrica. Metodi per la soluzione dei problemi di plasticità: metodo analitico, metodo dell'energia di deformazione uniforme e metodo delle sezioni piane;

**Fucinatura e Stampaggio:** Macchine per fucinatura: magli, presse, fucinatrici, martellatrici, elettroriscalatrici ecc.. Fucinatura libera. Ricalcatura piana e assialsimmetrica. Stampaggio. Programmazione degli stadi di stampaggio. CAD-CAM nello stampaggio. Forze di fucinatura e di stampaggio. Difetti di fucinatura.

**Laminazione:** Impianti di laminazione a caldo e a freddo. Relazioni geometriche nella laminazione. Analisi semplificata delle forze di laminazione. Analisi del processo con la valutazione locale delle pressioni. Calcolo delle forze e dei momenti applicati ai cilindri. Il controllo del laminatoio. Difetti nei prodotti della laminazione.

**Trafilatura:** Trattamenti preliminari. Lubrificazione. Caratteristiche e tipi di filiera. Lavorazioni di trafilatura. Analisi del processo di trafilatura. Calcolo delle forze e delle pressioni di filiera. Effetto di tiro. Lavoro di distorsione. Angolo ottimale di filiera.

**Estrusione:** Macchine e presse per estrusione. Estrusione continua. Analisi del processo. Deformazione, lubrificazione e difetti di estrusione. Estrusione di pezzi singoli

**Produzione di tubi:** Preparazione del forato mediante pressa, laminazione, estrusione, fusione. Allungamento e finitura al laminatoio a passo di pellegrino, al laminatoio iperbolico, al banco a spinta, per trafilatura. Fabbricazione di tubi saldati. Lavorazione delle lamiere: Tranciatura e punzonatura. Forze di estrazione del punzone. Punzoni per tranciare. Tranciatura fine. Piegatura. Il ritorno elastico. Forze di piegatura. Imbutitura: stato sollecitativo e analisi del processo. Prove di imbutibilità sui materiali metallici. Stampaggio delle lamiere con metodi non tradizionali.

## SALDATURA

Classificazione dei procedimenti di saldatura.

- Saldatura ad arco con elettrodi rivestiti: L'arco elettrico. Caratteristica d'arco. Caratteristica della saldatrice. Tensione convenzionale di saldatura. Tipi di rivestimento. Elettrodi animati.

- Saldatura ad arco sommerso: Impianto. Flusso granulare. Saldatura automatica. Autoregolazione. Regolazione di impianto.
- Saldatura ad arco con atmosfera gassosa: Procedimento TIG, gas protettivi, alimentazione elettrica, applicazioni. Procedimenti MIG e MAG, gas protettivi, regolazione, modalità di trasferimento del materiale nel bagno di saldatura. Saldatura arcatomica.
- Saldatura ossiacetilenica.
- Saldatura alluminotermica.
- Saldatura elettrica a resistenza: per punti, per rilievi, a rulli, per forgiatura, a scintillio.
- Saldobrasatura e Brasatura.

### Materiali per lo studio

Presso la copisteria accanto alla biblioteca Dore sono disponibili materiali di studio e fotocopie di appunti di lezione; esse non esauriscono integralmente il corso, ma costituiscono una utile traccia per chi non segue. Presso la copisteria Roma sono disponibili le dispense "ex patron". Anche esse non esauriscono il corso (sono anzi ridondanti riguardo a determinati argomenti), ma costituiscono una fonte di utile integrazione, oltre a contenere alcuni disegni di riferimento per le prove d'esame.

Il testo "Esercitazioni di lavorazioni per deformazione plastica" edito da Progetto Leonardo, raccoglie alcuni temi d'esame risolti relativi alla parte di plasticità. Si consiglia di integrarli con quelli non risolti presenti in copisteria assieme a quelli sui trattamenti termici.

### Testi di consultazione

- VESCHI, *L'acciaio ed il suo impiego*, Patron, Bologna.
- E.P. DE GARMO, J.T. BLACK, R.A. KOSHER, *Materials and processes in Manufacturing*, Prentice Hall, 1997.
- S. KALPAJAN, *Manufacturing Engineering and Technology*, Addison Wesley, 1992.
- J. SCHEY: *Introduction to manufacturing processes*, McGraw Hill, 1987.
- F. MAZZOLENI, *Tecnologie dei metalli*, vol I, II, III, Utet, Torino.
- G. PEROTTI, *Tecnologie siderurgiche*, Levrotto & Bella, Torino, 1970.
- A. VALLINI, *La saldatura e i suoi problemi*, Vol I, Dal Bianco editore, Udine, 1971.

### Regolamento e modalità di partecipazione

1. Sei appelli all'anno, due per sessione.
2. È obbligatorio segnarsi in lista, che viene inderogabilmente ritirata il giorno precedente all'appello.
3. L'esame si articola in due prove, una scritta obbligatoria, l'altra orale facoltativa.
4. Ai Candidati che conseguono un esito gravemente insufficiente (GI) nella prova scritta del primo appello NON è concesso di partecipare alla prova del secondo appello della stessa sessione d'esame.
5. Ogni candidato è tenuto (pena l'esclusione d'ufficio dalla correzione) a rammentare e indicare sull'elaborato il proprio numero di lista.
6. La prova orale, riservata ai Candidati che hanno superato positivamente la prova scritta, deve essere sostenuta nell'ambito dello stesso appello.
7. Qualora il candidato si ritiri (entro il massimo tempo per ciò concesso) nel corso della prova scritta, essa viene considerata come non effettuata.
8. Il Candidato ammesso (A) potrà rinunciare alla prova orale: in tal caso, l'esito della prova scritta costituirà l'esito dell'esame, che dovrà essere verbalizzato nell'ambito dello stesso appello.

lo. L'eventuale verbalizzazione in appello o sessione successiva dovrà essere motivata e concordata col docente

9. La mancata verbalizzazione dell'esito della prova scritta equivale a non accettazione del voto.

10. La non accettazione del voto comunque conseguito equivale a prova non superata.

## **TECNOLOGIA MECCANICA LA**

**FO, cds: clm**

Docente: **Luca Tomesani** prof. ass.

### **I MATERIALI METALLICI**

Richiami sulla costituzione della materia; lo stato metallico: allotropia; solidificazione; grani cristallini e giunti; difetti nei metalli; concetti di isotropia ed omogeneità.

### **CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI METALLICI**

#### *Prova di trazione*

Schema di una pressa per prove di trazione; diagrammi carico-spostamento; diagrammi tensione nominale-deformazione ingegneristica; incrudimento del materiale; fenomeno di instabilità plastica in trazione (strizione); effetto di intaglio.

#### *Prova di fatica*

Generalità; metodologie.

#### *Prova di resilienza*

Descrizione dell'attrezzatura; modalità di esecuzione; temperatura di transizione.

#### *Prove di durezza*

Brinell; vickers; rockwell.

### **CENNI DI SIDERURGIA**

#### *La produzione dell'acciaio*

Convertitori; forno elettrico; convertitore a ossigeno (L.D.).

#### *Principali metodi di colata*

In lingottiera; colata continua.

### **LEGHE FERROSE**

#### *Leghe: concetti preliminari*

Principali tipi di iagrammi di stato.

#### *Il ferro: leghe Fe-C*

Reticoli cristallini del ferro; trasformazioni allotropiche; volumi specifici delle fasi; diagramma di stato (stabile e metastabile); solidificazione delle leghe siderurgiche.

#### *Le ghise*

Generalità; la grafite: classificazioni ed effetti; interventi sulla grafite: ghise malleabili, sferoidali; interventi sulla matrice metallica; proprietà delle ghise; designazioni convenzionali.

#### *Gli acciai*

Classificazioni degli acciai; velocità nelle trasformazioni all'austenite: isteresi; principali strutture di trasformazione: perliti, bainiti, martensite; durezza degli acciai; temporalità: curve di Bain e curve ad U; misura della tempralità: prova Jominy; tempratura efficace; mezzi tempranti; leganti degli acciai; designazione convenzionale degli acciai.

#### *Trattamenti termici*



Bonifica; ricotture (vari tipi); normalizzazione.  
*Trattamenti di indurimento superficiale*  
 Cementazione; carbonitrurazione; niturazione; tempra superficiale.

## FONDERIA

Fenomeni di segregazione dei getti; il ciclo di formatura da liquido.

### *Fusione in terra*

Modello; terre per fonderia; formatura; colata.

### *Fusione in forma permanente*

A gravità; sotto pressione.

### *Microfusione*

## SALDATURA

### *Autogena*

Per fusione: ossiacelitenica; ad arco (vari tipi). Per pressione: bollitura; per punti; brasature.

## LAVORAZIONI PER DEFORMAZIONE PLASTICA

Generalità.

### *Laminazione*

Condizione di afferraggio; forza di laminazione; laminatoi; fabbricazione di barre e profilati; fabbricazione dei tubi.

### *Stampaggio e ricalcatura*

Generalità; metodologie.

### *Trafilatura*

Generalità e metodi; condizioni di trafilatura.

### *Imbutitura*

Generalità; limiti e rapporto di imbutitura.

### *Estrusione*

Estrusione diretta e inversa; curva carico-corsa.

### *Punzonatura e tranciatura*

Generalità.

### *Calandratura e piegatura*

Generalità; raggio di curvatura.

## TECNOLOGIA MECCANICA LB

Docente: **Giovanni Baroncini** prof. inc.

**FO, cds: dum, clm**

## GENERALITÀ SULLA TECNOLOGIA DELL'ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

Taglio ortogonale semplice

Geometria dell'utensile generico: angoli di taglio e di spoglia superiore e inferiore

Caratteristiche meccaniche principali dei materiali (di taglio e in lavorazione) e variazione della geometria utensile alla luce di queste caratteristiche.

Velocità di taglio e sua influenza (insieme alla geometria utensile) sulla temperatura, forze in gioco, usure e conseguente durata del tagliente.

Cenni sui costi complessivi derivanti dalle scelte operate nei riguardi della velocità di taglio in funzione dei costi di macchine, utensili, e manodopera.

Parametri di lavorazione in una generica asportazione lineare (taglio ortogonale), larghezza e al-

tezza truciolo, rapporto corretto fra i due, tagliente primario e secondario.

Sgrossatura e finitura, non proporzionalità fra valore della sezione del truciolo e la relativa velocità di taglio che conferisce la stessa durata del tagliente.

Durata della passata, tempi complessivi di lavorazione.

Materiali utilizzati nella costruzione degli utensili, caratteristiche e confronti.

Rettificazione: principio di intervento dell'utensile generico (distinzione dagli altri sistemi di asportazione di truciolo) abrasivi e sistemi di aggregazione degli stessi.

#### **TORNITURA**

Generalità macchine utensili in generale e in particolare il tornio: componenti, funzionamento, attrezzature.

Geometria dell'utensile specifico, varie tipologie (integrali e ad inserti), geometria degli inserti.

Modalità di taglio e parametri di lavorazione (sgrossatura e finitura).

Velocità di taglio e scelta su tabelle specifiche (estratte da manuale della ditta HERTEL)

Controllo della forma del truciolo

Calcolo della potenza assorbita con l'ausilio di tabelle (HERTEL).

Generalità sulle macchine tornitrici.

#### **FRESATURA**

Modalità di lavorazione in fresatura, utensile fresa (geometria).

Tipologia delle fresatrici (ad asse orizzontale e verticale).

Tipologia frese integrali e ad inserti, montaggio in relazione alle macchine e ai mandrini.

Parametri di lavorazione, individuazione della velocità di taglio (tabelle HERTEL).

Calcolo della potenza assorbita con l'ausilio di tabelle (HERTEL).

Generalità sulle macchine fresatrici.

#### **FORATURA**

Modalità di lavorazione anche nel confronto con la fresatura; fori dal pieno ciechi e passanti, allargamento e finitura, svasature e lamature).

Utensili: punte elicoidali, utensili ad inserto; allargatori, svasatori e lamatori integrali e ad inserto.

Parametri di lavorazione e individuazione della velocità di taglio per le punte elicoidali, con l'ausilio di tabelle (HERTEL).

Calcolo della potenza assorbita con l'ausilio di tabelle (HERTEL).

Generalità sulle macchine foratrici.

#### **ALESATURA**

Modalità di lavorazione, generalità sulle alesatrici

#### **LIMATURA, PIALLATURA, STOZZATURA**

Cenni sulle modalità di lavorazione e sullo schema di di funzionamento delle relative macchine.

#### **BROCCIATURA**

Campo di impiego, utensile (broccia) e suo funzionamento, schema generale della brocciatrice.

#### **RETTIFICATURA**

Utensili: carte e tele abrasive, mole, specifiche delle mole, generalità sulle rettificatrici. Campi di impiego della rettificazione.

#### **CONTROLLO NUMERICO**

Direzioni e versi delle coordinate cartesiane secondo le norme ISO sulle macchine utensili CN. Zero-pezzo, posizionamento dell'utensile (coordinate) rispetto ai punti di discontinuità del profi-

lo pezzo in relazione al percorso di lavorazione; cambiamento delle coordinate a parità di posizione al cambiare del riferimento utensile (punto virtuale, punto di tangenza, punto traccia asse circonferenza fresa o raccordo utensile tornio).

Programmazione ISO: funzioni principali, semplici cicli di lavoro e relativa programmazione ISO.

Zero-macchina come origine di partenza ripetibile, recepimento e memorizzazione della distanza fra 0-macchina e

0-pezzo per ogni asse e ogni utensile (correttore); gestione dei correttori in associazione con i raggi utensili come dati necessari alla gestione automatica del cambio utensile.

Compensazione raggio utensile, concetto e criteri di gestione.

#### CICLO DI LAVORO

Esempio di produzione di un semplice pezzo di tornitura con descrizione delle operazioni eseguite su tornio tradizionale, descrizione degli utensili scelti da catalogo, definizione mediante foglio di calcolo e tabelle dei parametri di taglio tenendo presente il tornio di cui è dotata la sede del corso.

Esempio di produzione dello stesso pezzo su generico tornio a controllo numerico con stesura del programma ISO, accompagnato da foglio di calcolo e tabelle per i parametri di lavorazione e rappresentazione degli utensili adottati e criteri di differenziazione da quelli adottati nell'esempio precedente.

#### TECNOLOGIE DELLE COSTRUZIONI AERONAUTICHE L FO, cds: dua, cla, clm Docente: Luigi Lazzeri prof. inc.

*Materiali metallici di impiego aeronautico.* Leghe alluminio-litio, leghe di alluminio per alte temperature. Leghe di magnesio. Titanio e leghe di titanio. Superleghe. Composti a matrice metallica.

*Fenomeni di fatica e frattura nelle costruzioni aeronautiche.* Cenni storici. Importanza dei fenomeni di fatica in campo aeronautico. Natura dei fenomeni di fatica; superfici di frattura. Carichi di fatica e curve S-N; sequenze di carico standard. Fattori che influenzano la resistenza a fatica. Tensioni residue superficiali (pallinatura, cold working, pre-tensionamento ecc.) e resistenza a fatica. Fenomeni di fretting. Disegno di dettaglio delle strutture aeronautiche. Manuali di progettazione. Crescita dei difetti per fatica e resistenza statica residua.

*Fenomeni di corrosione nelle strutture aeronautiche.* Ambienti corrosivi e tipi di corrosione. Comportamento dei materiali di impiego aeronautico in ambiente corrosivo. Prevenzione dei fenomeni di corrosione; trattamenti base e trattamenti specifici per i diversi materiali. Manutenzione dei velivoli. Fenomeni di corrosione sotto sforzo.

*Tecniche di assemblaggio dei velivoli.* Caratteristiche generali dei sistemi di collegamento. Rivettatura; tipi di rivetti e tecniche di installazione. Rivettatura manuale e automatica. Sigillatura dei collegamenti rivettati. Incollaggio; applicazioni in campo aeronautico. Tipi di adesivi. Preparazione delle superfici e tecniche di incollaggio. Saldature: Saldature TIG, MIG e plasma. Impieghi in campo aeronautico della saldatura ad arco e saldabilità dei materiali aeronautici. Saldatura per resistenza, saldatura con fascio di elettroni e saldatura laser. Brasatura. Esempi di componenti aeronautici saldati.

*Tecniche di fabbricazione.* Lavorazioni di lamiere e tubi. Tecniche di stampaggio in campo

aeronautico. Diffusion bonding e superplastic forming. Fonderia in campo aeronautico. Fresatura chimica. Metallurgia delle polveri. Estrusione. Elettro erosione. Idrotaglio. Lavorazioni con macchine a controllo numerico. Lavorazioni non convenzionali per materiali ad elevata durezza.

**Materiali compositi.** Materiali compositi per impieghi aeronautici. Principali sistemi di fibre e di matrici. Tecnologie della laminazione. Filament-winding, Poltrusion, Braiding, Taglio e tornatura dei materiali compositi.

**Assemblaggio dei velivoli.** Dime e controdimi. Dima campione. Scali di montaggio. Inter-cambiabilità. Programmazione della produzione.

### Testi consigliati

Dispense del docente.

HORNE D.F., *Aircraft Production Technology*, Cambridge University Press, 1986.

## TECNOLOGIE DI CHIMICA APPLICATA

Docente: **Maria Chiara Bignozzi ric.**

**BO, cds: M**

### Programma

Combustione e combustibili: aspetti termodinamici e cinetici della combustione, studio delle caratteristiche dei combustibili (solidi, liquidi, gassosi) naturali ed artificiali.

Le acque: proprietà chimico-fisiche delle acque naturali. Trattamenti per il loro impiego nell'ingegneria meccanica (circuiti di raffreddamento, come acque di alimentazione per caldaie, etc.)

Corrosione dei materiali metallici: aspetti termodinamici e cinetici della corrosione umida e secca. Morfologia della corrosione e metodi di protezione dei metalli.

Materiali polimerici: proprietà chimiche, termiche e meccaniche; processi di polimerizzazione. Polimeri termoplastici e termoindurenti: caratteristiche e proprietà. Principali tecnologie di lavorazione. Elastomeri naturali e sintetici.

Modalità di svolgimento dell'esame: scritto e orale

### Testi di consultazione:

G. SALVI, *La combustione*, Tamburini Editore.

AIMAT, *Manuale dei Materiali per l'Ingegneria - Capitolo Materiali Polimerici*, Mc Graw Hill Editore.

P. PEDEFERRI, *Corrosione e protezione dei materiali metallici*, Clup Editore.

A. GIRELLI, *Trattato di Chimica Industriale ed Applicata*, Zanichelli Editore.

**TECNOLOGIE DI CHIMICA APPLICATA L****BO, cds: R**Docente: **Giorgio Timellini** prof. straord.**Finalità del Corso**

Fornire agli allievi una conoscenza di base delle principali classi di materiali da costruzione e dei materiali di processo (combustibili, acqua); delle correlazioni delle caratteristiche e dei processi di fabbricazione con natura, composizione e proprietà delle materie prime; dei principali problemi di impatto ambientale associati a lavorazione, produzione, trattamento, applicazione ed impiego dei materiali considerati.

**Programma****Introduzione al corso**

Classificazione dei materiali. Proprietà generali. Introduzione alla scienza dei materiali. Microstruttura e proprietà fisico-meccaniche. Richiami sui diagrammi di stato. Le materie prime ed i processi di fabbricazione. Materiali, energia e ambiente.

**La combustione ed i combustibili**

I combustibili fossili nel quadro generale della produzione di energia. Chimica-fisica della combustione.

I combustibili e l'ambiente: inquinamento ambientale dai processi di produzione dei combustibili. Inquinamento ambientale dai processi di combustione.

**Le acque**

Caratterizzazione chimico-fisica. Acque naturali ed acque industriali di scarico. Requisiti qualitativi per le acque potabili, per le acque per caldaie e circuiti di raffreddamento, per le acque di scarico. I trattamenti e la depurazione delle acque. I fanghi di risulta dai processi di depurazione.

**I materiali ceramici**

Generalità sulle materie prime ceramiche: argille, quarzo, feldspati, carbonati, etc. Caratterizzazione chimico-fisica ed attitudinale delle materie prime ceramiche.

Cenni sui ceramici per edilizia, per uso domestico, per l'industria (refrattari): materie prime, ciclo di fabbricazione, proprietà.

Il calcestruzzo: composizione, produzione, proprietà, applicazioni.

**I metalli**

Generalità sullo stato metallico e sulle proprietà dei metalli. Le materie prime ed i processi metallurgici. Ferro e sue leghe. Corrosione e protezione dei metalli.

**I materiali e l'ambiente.** Guida, con riferimento ai materiali oggetto del corso, all'identificazione e specificazione dei principali fattori di impatto ambientale, ed alla gestione delle attività di prevenzione/riduzione di tali impatti. Analisi critica di esperienze industriali. Cenni alla gestione dell'ambiente secondo norme e regolamenti vigenti e sulla certificazione ambientale di processo e di prodotto.

**Esame**

Sono previste due prove scritte intermedie di verifica (consigliate).

L'esame consiste in un colloquio orale.

**Testi consigliati(consultazione):**

- W.F. SMITH, *Scienza e Tecnologia dei Materiali*, McGraw-Hill It., Milano, 1995.  
 AUTORI VARI, *Manuale dei Materiali per l'Ingegneria*, a cura di AIMAT, Mc-Graw-Hill Ed., Milano (1996).  
 W. BUCHNER ET AL., *Chimica Inorganica Industriale*, Ed. Piccin, Padova, 1996.  
 L. BRUZZI, *Prevenzione e controllo dell'impatto ambientale*, Ed. CLUEB, Bologna (1995).  
 G. BUSANI, C. PALMONARI, G. TIMELLINI, *Piastrelle ceramiche & Ambiente*, Ed. EDI.CER, Sasuolo, 1995.

**Altro materiale di supporto:**

Documentazione fornita dal docente

**TECNOLOGIE DI CHIMICA APPLICATA LS****FO, cds: clm**

Docente: **Virna Bonora** ric.

Generalità sui materiali. Relazione struttura e proprietà dei materiali. Trasformazioni di fase e diagrammi di stato.

Materiali metallici. Principali leghe non ferrose: leghe dell'alluminio e del magnesio. Normativa

Materiali ceramici. Ceramici tradizionali ed avanzati. Materie prime e tecnologie di produzione. Caratteristiche e prestazioni. Normativa

Materiali polimerici. Metodi industriali di produzione e lavorazione dei materiali polimerici. Relazione proprietà e struttura. Additivi. Normativa

Materiali compositi. Generalità sui diversi tipi di materiali compositi. Materiali compositi a matrice polimerica. Processi di trasformazione dei materiali compositi a matrice polimerica. Normativa

Corrosione e protezione dei materiali. Generalità sulla corrosione dei diversi tipi di materiali e metodi di protezione. Normativa.

Agli studenti vengono fornite le copie su carta dei lucidi proiettati nel corso delle lezioni.

L'esame consiste in un colloquio individuale sugli argomenti trattati nelle lezioni.

**Testi consigliati**

- W.D. CALLISTER JR., *Materials science and engineering, an introduction*, John Wiley & Sons, 1999.  
 AA.VV., *Manuale dei materiali per l'ingegneria*, A cura di AIMAT, Mc Graw Hill, 1996.  
 D.R. ASKELAND, *The science and Engineering of materials*, Chapman & Hall, 1991.  
 W. KURZ, J.P. MERCIER, G. ZAMBELLI, *Introduzione alla scienza dei materiali*, Hoepli, 1997.  
 W.F. SMITH, *Scienza e tecnologia dei materiali*, Mc. Graw Hill Ed., 1996.

**TECNOLOGIE E APPLICAZIONI NUCLEARI**

BO, cds: N

Docente: Franco Cesari prof. ass.

L'Insegnamento si propone di analizzare gli impianti di potenza sotto l'aspetto funzionale e strutturale, onde consentire una visione specifica delle esigenze e dei problemi connessi con il progetto, il funzionamento e l'esercizio delle centrali. Particolare attenzione verrà data alle analisi affidabilistiche, alle procedure qualitative di accertamento (concetto della Garanzia della Qualità) e alle condizioni di sicurezza, che devono essere svolte ed approfondite in tutte le fasi del presente programma. Gli studenti potranno avvalersi dell'uso di programmi numerici su calcolatore (prevalentemente PC ed eccezionalmente main frame), che consentano di effettuare applicazioni (strutturali, affidabilistiche, etc.) su componenti dell'impianto di potenza.

**1. Criteri di progettazione**

Eventi normali ed incidentali durante la vita dell'impianto (esercizio normale, manutenzione, etc.). Condizioni di carico e di funzionamento degli impianti di potenza. Analisi accurata degli effetti dovuti ad alcuni fenomeni importanti (creep, fatica, sisma, etc.). Effetti strutturali legati alle condizioni operative incidentali (tipi di rotture, danni permanenti, etc.) ed affidabilità delle difese strutturali contro le situazioni limite. Normative (di qualità, sicurezza, etc.).

**2. Materiali strutturali**

Materiali strutturali per i componenti del circuito primario e del nocciolo; relativi criteri di scelta. Prove su provini/strutture; caratterizzazione a T.A. ed in temperatura. Equazioni costitutive per alcuni fenomeni, considerando le caratteristiche chimico-fisico-meccaniche necessarie per il progetto e l'analisi incidentale. Dati a norma e dati sperimentali. Archivi di dati e banche dati relazionali.

**3. Contenimento esterno**

Caratteristiche e descrizione dei sistemi di contenimento per i vari tipi di reattori. Componenti di un contenitore e sistemi ausiliari. Normative per la realizzazione e le prove (di accettazione e periodiche). Criteri di progetto strutturale e loro applicazione al dimensionamento ed alla verifica di un contenitore metallico. Situazioni incidentali estreme (caduta di aereo, contenimento del corium, jet impingement, etc.).

**4. Circuito primario**

Componenti del circuito primario e loro sistemazione entro il contenitore. Normative per la verifica, la realizzazione e le prove. Logiche della verifica semplificata, dettagliata e sperimentale per tubazioni di Classe 1 ( e 3). Accorgimenti realizzativi per limitare le conseguenze incidentali (sostegni, isolatori sismici, smorzatori, anse di dilatazione, etc.).

Affidabilità strutturale in condizioni di esercizio e di incidente. Effetti della conduzione normale e di situazioni limite (attivazione del fluido refrigerante/materiali strutturali, reazioni combustibile-fluido e combustibile/materiali incamicianti, corium, etc.).

**5. Strumentazione**

Sensori di processo/sperimentazione e circuiti associati. Schema di processo strumentato di impianto di potenza. Normative e simbologia. Strumenti per la misura/regolazione di alcune quantità per il funzionamento dell'impianto (caratteristiche, principi fisici applicati, specifiche tecniche, trasmettitori, PI/PD/PID, analisi di segnale, costi, etc.). Affidabilità e logiche di prevenzione dei guasti, sia nelle catene per il controllo, sia in quelle per la sicurezza dell'impianto.

*Libri consigliati*

F. CESARI, *Circuiti primari e tubazioni di classe 1: progettazione, verifiche, materiali e normative*, ENEA, 1990.

G. LIPTAK, *Theory and Design of Modern Pressure Vessel*, Van Nostrand, 1980.

F. CESARI, *Analisi strutturale di membrane metalliche*, Pitagora, 1984.

Dispense a cura del docente.

*Esercitazioni*

Teoriche con applicazione ed uso del calcolatore per impiegare ed usare programmi di calcolo esistenti.

Si consiglia vivamente la partecipazione alle esercitazioni, che costituiscono una integrazione utile delle lezioni.

Visite ad industrie del settore impiantistico (Folchi-Hudson, Riva-Calzoni, FBM, etc.) saranno integrate con incontri con tecnici ENEL a Montalto di Castro e a Caorso (ogni due anni) con tecnici francesi di Edf.

Possono essere svolte tesine (di cui tener conto all'esame).

*Esami: orali.**Tesi di laurea*

Un gran numero di temi di tipo strutturale (effetto sulle strutture per centrali nucleari di fatica termica, creep-fatica, analisi limite, resistenza residua, etc.) e funzionale (simulazione di un circuito primario, impiego del CSMP nell'analisi incidentale e nella regolazione, etc.) possono essere svolti sotto la diretta assistenza dei docenti.

**TECNOLOGIE GENERALI DEI MATERIALI****BO, cds: G\_BO, M**Docente: **Daniele Veschi** prof. ass.*Generalità*

Primo ciclo del quarto anno di Ingegneria Meccanica, indirizzo Materiali (caratterizzante), Produzione e Costruzioni. Facoltativo. Quarto anno Ingegneria Gestionale.

Facoltativo. 90 ore di lezioni circa, esercitazioni e attività di laboratorio incluse. Scopo del corso è l'acquisizione degli elementi finalizzati alla corretta scelta dei materiali ed alla migliore sequenza delle operazioni e dei trattamenti nella realizzazione dei particolari meccanici. È consigliata la propedeuticità di Tecnologia Meccanica.

*Programma*

**I MATERIALI METALLICI** - richiami sulla costituzione della materia - lo stato metallico: allotropia - solidificazione - grani cristallini e giunti - difetti nei metalli; isotropia ed omogeneità

**PROVE DI DUREZZA** (richiami) - metodo Brinell ed applicazioni; - metodo Vickers ed applicazioni; - metodo Rockwell ed applicazioni; - metodi per la durezza superficiale; - microdurezza e sistemi di misura.

**LEGHE FERROSE** Il ferro: leghe Fe-C - reticoli cristallini del ferro - trasformazioni allotropiche - volumi specifici delle fasi - diagramma di stato (stabile e metastabile) - diagramma di struttura - classificazioni generali degli acciai - i fenomeni di diffusione: leggi di Fick - il micro-



scopio metallografico (reattivi) - strutture dell'acciaio

Gli acciai - velocità nelle trasformazioni dell'austenite: isteresi - principali strutture di trasformazione: perliti, bainiti, martensite - caratteristiche delle principali strutture - temprabilità: curve di Bain e curve CCT - la tempra e problemi connessi - temprabilità - misura della temprabilità: prova Jominy - tempra efficace - curve ad U ed effetto di massa - il grano austenitico e la sua valutazione - ingrossamento del grano austenitico - mezzi tempranti - leganti degli acciai (generalità) - effetti dei principali leganti: Mn, Ni, Cr, Mo, W, Si, V, Co, Al, S, Pb - lavorabilità all'utensile degli acciai - designazione convenzionale degli acciai.

Trattamenti termici - rinvenimento - bonifica - ricotture (vari tipi) - normalizzazione

Trattamenti termochimici - cementazione (generalità) - cementazione solida - cementazione in bagno di sali - cementazione gassosa - le atmosfere in trattamento termico - endogas ed equilibri - la tempra dopo cementazione - sistemi di protezione anticementanti - carbonitrurazione - nitrurazione; acciai da nitrurazione - trattamenti "antiusura": Tenifer e derivati, Sulf-inuz e derivati, Sulf BT - iononitrurazione - borurazione.

Trattamenti di indurimento superficiale - tempra superficiale: per fiammatura e ad induzione - riporti di metalli duri - flammizzazione - nichelatura chimica - processo PVD - processo CVD

Scelta degli acciai da costruzione - fattori fondamentali: caratteristiche, reperibilità, prezzo - scelta degli acciai da bonifica - acciai microlegati - scelta degli acciai da cementazione - scelta della profondità di cementazione.

Cicli di produzione di particolari meccanici

Saldabilità degli acciai - Generalità e problematiche - difetti di saldatura: cricche a caldo, cricche a freddo, soffiature, strutture anomale, tensioni residue.

Acciai speciali e per usi specifici - Acciai rapidi - trattamento termico degli acciai rapidi - Acciai per lavorazioni a caldo - Acciai per impieghi ad alta temperatura: creep e criteri di scelta - Acciai per cuscinetti volventi - Acciai per molle - Acciai per lavorazioni a freddo - Acciai per impieghi alle basse temperature - Acciai maraging.

Variazioni dimensionali e tensioni residue in trattamento.

Acciai inossidabili - Generalità - diagramma di Shaffler - Acciai inossidabili martensitici (e semiferitici) - Acciai inossidabili ferritici - Acciai inossidabili austenitici - scelta degli acciai inossidabili.

Fonderia dell'acciaio - problematiche generali.

ALLUMINIO e sue LEGHE - Metallurgia dell'alluminio - Generalità e caratteristiche generali.

Leghe di Alluminio - Leghe e leganti - correttivi - leghe madri - principali leganti: Cu, Si, Mg, Zn - altri leganti o correttivi: Mn, Fe, Ni, Cr, Ti, Sn - classificazione e designazione convenzionale.

Modifiche strutturali - generalità - trattamenti di modificazione (liquido) - trattamenti sul solido per via meccanica o termica - tempra strutturale - fenomeni di riprecipitazione (invecchiamento).

Trattamenti termici - bonifica (modalità e mezzi) - ricotture (vari tipi).

Fonderia delle leghe di alluminio - problematiche generali - metodologie (in terra, in conchiglia, iniettofusione) - difetti dei getti: segregazione, contrazione, ritiro lineare, gas disciolti, composizione chimica.

Lavorazioni plastiche delle leghe di alluminio - generalità - laminazione a caldo, - stampaggio - estrusione - laminazione a freddo - trafilatura - imbutitura.

Lavorazioni al truciolo delle leghe di alluminio - generalità

Saldatura delle leghe di alluminio - generalità e problematiche - metodologie.

MAGNESIO e sue LEGHE - metallurgia - generalità e caratteristiche - leghe e leganti - classificazione e designazioni convenzionali - leghe con AL-Zn-Mn - leghe con Zn-Zr - leghe resi-

stenti a caldo (terre rare, Th) - trattamenti termici e loro effetti.

Fonderia delle leghe di magnesio - problematiche generali - metodologie (in terra, in conchiglia, iniettofusione) - affinazione del grano.

Lavorazioni plastiche delle leghe di magnesio - generalità - laminazione - forgiatura e stampaggio - estrusione - formatura di lamiera.

Lavorazioni al truciolo delle leghe di magnesio - generalità

Saldatura delle leghe di magnesio - generalità e problematiche - metodologie

Protezione anticorrosione delle leghe di magnesio - problematiche - metodologie diverse e relativi effetti.

Progettazione con leghe di magnesio - Peculiarità ed aspetti particolari - applicazioni

**MATERIE PLASTICHE** - Tipi fondamentali - riempitivi e additivi

Resine termoindurenti ad alta pressione - resine fenoliche, melaminiche, ureiche - laminati plastici - stampaggio per compressione diretta - stampaggio transfer e per iniezione.

Resine termoindurenti a bassa pressione - resine poliesteri, epossidiche - plastici rinforzati - resine per colata - incollaggi - resine poliuretaniche

Resine termoplastiche - generalità - struttura delle resine - estrusione - stampaggio ad iniezione - soffiatura di corpi cavi - formatura di lastre - poliolefine - PVC - polistirolo e copolimeri - poliammidi: tipi, caratteristiche, tecnologie, trattamenti, impieghi - poliacetaliche - resine fluorurate.

Principi generali di progettazione con materiali plastici.

**RAME** e sue **LEGHE** - Generalità - metallurgia del rame - proprietà meccaniche, chimiche elettriche - rami bassolegati - leghe a titolo elevato (Be, Co-Be, Si-Mn, Ni-Si) - leghe con lo zinco: ottoni (vari tipi) - leghe con lo stagno: bronzi (vari tipi) - cuprallumini - cupronichel - alpacche.

**ZINCO** e sue **LEGHE** - Generalità - metallurgia - caratteristiche - zincatura a caldo - pressocolata.

**TITANIO** e sue **LEGHE** - Generalità - caratteristiche generali, fisiche, meccaniche - resistenza alla corrosione - metallurgia del Titanio - caratteristiche tecnologiche (truciolabilità, deformabilità, fusibilità, saldabilità) - Titanio commerciale - leghe di Titanio.

### *Testi per la preparazione e Bibliografia*

PAUL DEGARMO, *Materials and processes in manufacturing*, MacMillan publishing co., inc. N.Y.

GIUSTI-SANTOCHI, *Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione*, Ed. Ambrosiana (MI).

F. MAZZOLENI, *Tecnologie dei metalli*, vol I, II, III, Utet, Torino.

VESCHI, *L'acciaio ed il suo impiego* (Patron, Bologna).

VESCHI, *L'alluminio e le leghe leggere*, Hoepli, Milano.

*Materie plastiche*, Appunti fotocopiati presso copisteria di fianco alla Biblioteca Dore.

*Rame e sue leghe*, Appunti fotocopiati presso copisteria di fianco alla Biblioteca Dore.

### *Modalità di esecuzione delle prove d'esame*

Prova scritta preliminare, consistente nello studio del ciclo di produzione di un componente meccanico. Prova orale.

**TECNOLOGIE PER LA SICUREZZA LS**

BO, cds: I,L

Docente: Roberto Laschi prof. ord.

**Finalità**

Introdurre il problema della sicurezza dei sistemi informatici. Classificare ed analizzare i meccanismi ed i servizi che consentono di fronteggiare attacchi intenzionali. Discutere alcuni casi significativi di applicazioni sicure.

**Programma**

1. Sicurezza dei sistemi informatici: tecnologie dell'informazione, tecnologie per la sicurezza, crittografia, crittanalisi
2. Meccanismi per la riservatezza: crittografia classica, teoria dell'informazione, cifrari simmetrici ed asimmetrici.
3. Meccanismi per l'autenticazione: verifica dell'integrità e dell'origine, firma digitale, identificazione.
4. Casi di studio: Kerberos, PKI, PGP, GSM/UMTS, televisione a pagamento, servizi bancari.
5. Steganografia e Biometria.

**Esame:**

prova orale articolata in una verifica della conoscenza acquisita ed in una discussione di compiti fatti a casa.

**Esercitazioni:**

progetto, valutazione e gestione di semplici meccanismi per la sicurezza.

**Propedeuticità:**

Matematica discreta

**Bibliografia:**

- [1] ROBERTO LASCHI, REBECCA MONTANARI, *Appunti di tecnologie per la sicurezza*, fotocopie 2002.
- [2] PAOLO FERRAGINA, FABRIZIO LUCCIO, *Crittografia. Principi, Algoritmi, Applicazioni*, Bollati Boringhieri 2001.
- [3] BRUCE SCHNEIER, *Applied Cryptography*, John Wiley 1996.
- [4] A.J. MENEZES, P.C. VAN OORSCHOT, S.A. VANSTONE, *Handbook of Applied Cryptography*, CRC Press 1997.
- [4] WILLIAM STALLING, *Sicurezza delle reti. Applicazioni e standard*, Addison Wesley Longman Italia 2001.
- [5] BRUCE SCHNEIER, *Sicurezza digitale. Miti da sfatare, strategie da adottare*, Tecniche nuove 2001.
- [6] MARIAGRAZIA FUGINI, FABRIZIO MAIO, PIERLUIGI PLEBANI, *Sicurezza dei sistemi informatici*, Apogeo 2001.
- [7] HENK C.A. VAN TILBORG, *Fundamentals of Cryptology*, Kluwer Academic Publishers 2001.

**TECNOLOGIE WEB LA****BO, cds: I**Docente: **Fabio Tarantino** prof. inc.

Questo corso si ripropone di descrivere nel dettaglio i modelli, le architetture e i componenti principali delle Architetture distribuite per la gestione di servizi ed applicazioni Web-based.

Il corso è diviso in tre percorsi logici il cui obiettivo è quello di fornire una visione complessiva delle tecnologie in gioco e delle tecniche di sviluppo di applicazioni distribuite:

**1. Standard di riferimento, Architetture e Modelli**

- Modelli di Programmazione (Client/Server, Code Mobility)
  - o Il modello thin client basato sulla coppia Browser/Web Server
  - o Code on Demand:Java Applet
  - o Modelli basati sulla mobilità del codice
- Protocolli (TCP/IP, HTTP, FTP)
- TCP/IP – aggancio del livello di applicazione sui livelli TCP
  - o HTTP
  - o FTP
- Progettazione e dimensionamento dei Sistemi
- Client Side (browser)
- Server Side (web server, application server, database)
- Replicazione, Clustering: Fault Tolerance e Scalabilità
- Testing, analisi della qualità e delle prestazioni

**2. Tecnologie e linguaggi di programmazione**

- Il linguaggio HTML
- Programmazione Client Side
  - o Il modello di esecuzione
  - o Javascript e DHTML
  - o Cenni di VBScript
- Programmazione Server Side
  - o Modello di esecuzione
  - o CGI, Java Servlet, ASP/JSP
  - o Linguaggi (Java e cenni di VB e Perl)
- Sviluppo di applicazioni distribuite
  - o Componenti software (COM+, EJB)
  - o Modelli alternativi basati sulla mobilità del codice
- Integrazione dei Sistemi Informativi nelle applicazioni Web-based
  - o criteri di progettazione dei DataBase e l'importanza delle performance
  - o JDBC e ODBC per l'accesso standard alle risorse dati

**3. Tecnologie di sviluppo avanzate basate sull'XML**

- Il linguaggio XML
- Struttura e sintassi
- Definizione del tipi di documento (DTD)
  - o Tipi di documento standard XML-Data
- Le tecnologie correlate (XSL, XLL, XPOINTER)
- XML Parser: i modelli di parsing (DOM e SAX)
- Tecniche e sviluppo di applicazioni Web-based con l'ausilio dell'XML
- Tecniche e problematiche di System Integration

**Propedeuticità consigliate:**

Sistemi informativi L-A, Sistemi Operativi L-A, Reti di Calcolatori L-A

**Modalità di Esame:**

sono previste delle prove scritte durante la frequenza del corso ed un esame orale finale.

**TELECOMUNICAZIONI LA****BO, cds: P**

Docente: **Roberto Verdone** prof. straord.

I due moduli di Telecomunicazioni L-A e L-B si prefiggono l'obiettivo di fornire gli elementi di base necessari all'Ingegnere dei Processi Gestionali, che opera presso una azienda che produce beni o servizi, per comprendere le problematiche connesse alla gestione di una rete di comunicazione e per effettuare scelte organizzative relative ai flussi informativi aziendali. A tal fine, il corso di Telecomunicazioni L-A contiene la prima parte teorica, che fornisce i principi fondamentali delle telecomunicazioni numeriche.

**Programma****Introduzione****Teoria dei segnali determinati e dei sistemi**

Segnali determinati: energia, periodici

Segnali determinati: aperiodici

Sistemi lineari e tempo-invarianti

**Teoria dei segnali aleatori**

Teoria delle variabili aleatorie

Teoria dei processi aleatori

Rumore termico ed altri disturbi

**Teoria della comunicazioni numeriche**

Schema a blocchi di un sistema di trasmissione

Sistema di trasmissione numerico passabasso

Teoria dell'informazione

Segnali

Conversione AD e DA

**Testi consigliati**

ROBERTO VERDONE, *Fondamenti di Telecomunicazioni per l'Ingegneria Gestionale*.

LEONARDO CALANDRINO, MARCO CHIANI, *Quaderni di comunicazioni elettriche*, Vols. 1 e 2, Pitagora Editrice.

BRUCE CARLSON, *Communication Systems*, Third Ed., McGraw-Hill.

**Modalità di esame**

Prova scritta e orale.

È prevista una prova intermedia il cui superamento permette l'accesso alla prova orale finale.

**TELECOMUNICAZIONI LB****BO, cds: P**Docente: **Roberto Verdone** prof. straord.

I due moduli di Telecomunicazioni L-A e L-B si prefiggono l'obiettivo di fornire gli elementi di base necessari all'Ingegnere dei Processi Gestionali, che opera presso una azienda che produce beni o servizi, per comprendere le problematiche connesse alla gestione di una rete di comunicazione e per effettuare scelte organizzative relative ai flussi informativi aziendali.

A tal fine, il corso di Telecomunicazioni L-B, oltre ad estendere la trattazione dei principi fondamentali delle telecomunicazioni numeriche, via radio e via cavo, illustra le caratteristiche principali di alcuni sistemi e reti di comunicazione di uso comune e/o grande sviluppo futuro e lo scenario globale che li coinvolge: si accenna alla rete Internet, alle reti mobili cellulari GSM, GPRS e UMTS, ai sistemi wireless per reti locali, al sistema di localizzazione satellitare GPS.

**Programma****Introduzione****Sistemi di telecomunicazioni**

- Architetture protocollari
- Mezzi di trasmissione
- Sistemi di trasmissione numerici passabanda
- Multiplicazione

**Reti di telecomunicazioni**

- Accesso Multiplo
- IP, TCP, UDP
- Reti locali
- VoIP
- Reti locali wireless (WiFi, Bluetooth)
- Reti radiomobili (GSM, GPRS, UMTS)
- Localizzazione

**Testi consigliati**

- ROBERTO VERDONE, *Fondamenti di Telecomunicazioni per l'Ingegneria Gestionale*.  
 LEONARDO CALANDRINO, MARCO CHIANI, *Quaderni di comunicazioni elettriche*, Voll. 1 e 2, Pitagora Editrice.  
 BRUCE CARLSON, *Communication Systems*, Third Ed., McGraw-Hill.

**Modalità di esame**

Prova orale.

**TEORIA DELL'INFORMAZIONE E CODICI LS****CE, cds: S**Docente: **Marco Chiani** prof. straord.*Misura dell'informazione e Codifica di sorgente*

Incertezza, Informazione, Entropia. Entropia di sorgenti discrete. Ridondanza di sorgente. Applicazione: ridondanza della lingua italiana.

Codifica di sorgente: codici a lunghezza fissa e variabile. Codici non ambigui, codici istantanei, codici a prefisso. Codici a prefisso: la disuguaglianza di Kraft. Teorema della codifica di sorgente. Codice di Huffman. Codice di Lempel-Ziv. Applicazioni: facsimile, compressione file binari. Codifica di sorgenti continue: codifica lineare predittiva (LPC), quantizzazione vettoriale, codifica con trasformate (DCT). Applicazione ai segnali video.

### Capacità di canale

Il canale discreto senza memoria. Incertezza a priori, equivocazione, informazione mutua. Capacità di un canale discreto senza memoria.

Il principio di conservazione dell'informazione. La disuguaglianza di Fano. Teorema della codifica di canale. Variabili aleatorie continue: entropia differenziale e sue proprietà. La distribuzione Gaussiana come estrema dell'entropia nel caso continuo. Capacità di canali con rumore additivo Gaussiano: la formula di Hartley-Shannon. Il piano efficienza spettrale - rapporto segnale rumore.

### Codifica di canale

Sicurezza e protezione dell'informazione. Correzione e rivelazione di errori nella trasmissione dati. Guadagno di codifica. Codici a blocco lineari. Matrice generatrice del codice. Codici equivalenti. Codici sistematici. Codici duali. Matrice di controllo della parità. Codici di Hamming. Codici di Reed-Muller.

Elementi di teoria della decisione: criterio della massima probabilità a posteriori (MAP), criterio di massima verosimiglianza (ML).

Decodifica ottima basata su hard e soft decisions. Union bound. Capacità di rivelazione e correzione di errori di codici a blocco. Codici perfetti. Codici ciclici. Codici ciclici in forma sistematica. Circuiti moltiplicatori e divisori con shift register. Esempi: codice di Hamming ciclico, codice CCITT per X25.

Codici per la rivelazione di errore e tecniche di ritrasmissione (ARQ).

Principali codici ciclici: codici di Hamming ciclici, codice di Golay. Codici a massima lunghezza. Sequenze pseudo-casuali: principali proprietà. Lo scrambling. Codici BCH. Codici di Reed-Solomon. Cenni sui decodificatori algebrici.

Codici convoluzionali: diagramma ad albero, diagramma a trellis, diagramma degli stati. Decodifica mediante l'algoritmo di Viterbi: aspetti implementativi e complessità. Probabilità di errore per codici convoluzionali. Distanza libera del codice. Pairwise probability.

Canali con errori a burst: interleaving e FEC. Codici concatenati. Decodifica iterativa: turbo-codici, codici basati su matrici sparse.

### Applicazioni

Compressione e protezione dell'informazione nei sistemi di memorizzazione CD e DVD, nei sistemi radiomobili cellulari, nei sistemi di trasmissione da satellite, nelle reti wireless locali.

### Bibliografia

THOMAS M. COVER, JOY A. THOMAS, *Elements of Information Theory*, Wiley, New York, 1991.  
JOHN G. PROAKIS, *Digital Communications*, McGraw-Hill, New York.

**TEORIA DELLO SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI**

BO, cds: Q

Docente: Massimo Nocentini prof. ass.

Nell'Insegnamento vengono forniti gli elementi fondamentali connessi con lo sviluppo di processi chimici. La parte predominante dell'insegnamento riguarda valutazioni economiche di processi chimici: stima degli investimenti, del costo del prodotto, della redditività dell'investimento; vengono inoltre discusse alcune tecniche di ottimizzazione. Una parte dei contenuti dell'insegnamento sarà affrontata anche mediante l'uso di un simulatore di processo scelto fra quelli più in uso nell'industria.

1. *Introduzione*: Lo sviluppo di un processo (significato e strumenti necessari).

2. *Elementi di matematica finanziaria*: Valore attuale, montante, interesse, annualità, costo capitalizzato.

3. *Stima degli investimenti*: Tipologia degli investimenti (ai limiti di batteria, su nuovo sito), fattori di localizzazione ed influenza dei parametri socio-economici. Aggiornamento dei dati di costo. Metodi di stima basati su dati di impianti simili (investimento unitario, metodo esponenziale); metodi che non richiedono il dimensionamento degli apparati (Wilson, Viola); metodi basati sul costo degli apparati principali (Lang, Miller, metodo modulare). Dati di costo dei singoli apparati (dati di letteratura e software specifico).

4. *Stima del costo del prodotto*: Componenti del costo (costi diretti, indiretti, fissi, generali) e valutazione dei vari termini con riferimento all'industria chimica.

5. *Stima della redditività*: Variazione della potenzialità e sua influenza sugli utili. Diagramma del flusso di cassa in fase di costruzione e di esercizio dell'impianto. Criteri per la valutazione della redditività (ritorno sull'investimento, tempo di ritorno, tasso interno di rendimento, valore presente netto, rapporto benefici/costi). Problemi di scelta fra varie alternative. Criteri di gestione delle incertezze (di mercato e sui costi) nelle stime di redditività: espressione dei dati economici in termini probabilistici, combinazione di probabilità, tecnica Monte Carlo. Elementi di teoria delle decisioni: le alternative, i criteri di valutazione, i criteri di decisione (massimo valore atteso, massima unità).

6. *Elementi di ottimizzazione*. Ottimizzazione tecnica ed economica. Ripartizione del capitale per la massimizzazione del profitto. Profitti e costi marginali. Tecniche di ricerca del massimo di funzioni-obiettivo di una e più variabili. Programmazione lineare. Programmazione dinamica. Applicazione delle tecniche a problemi dell'industria di processo.

7. *Simulatore di processo*: (Saranno illustrati gli aspetti fondamentali e svolte esercitazioni in cui lo studente userà il simulatore). Elementi per l'input dei dati. Dati di libreria per le varie sostanze. Scelta dei metodi per la valutazione delle proprietà termodinamiche. Illustrazione delle principali operazioni unitarie e dei relativi input dati; Valutazione dei costi di apparati. Ottimizzazione di funzioni-obiettivo.

**Testi consigliati:**

La bibliografia inerente agli argomenti trattati è citata nelle dispense dell'insegnamento (disponibili presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica e di Processo).

**Esame**: consiste in una prova scritta ed in un colloquio.



**TEORIA E PROGETTO DEI PONTI****BO, cds: C**Docente: **Maurizio Merli** prof. ass.

*Parte prima: questioni introduttive generali* - Principali soluzioni strutturali (cenni storici ed esempi; considerazioni qualitative; il ruolo favorevole dello sforzo assiale nell'equilibramento dei carichi; le norme). Azioni esterne (azioni permanenti; carico utile; vento; stati coattivi; azioni sismiche). Linee di influenza (metodo diretto; metodo indiretto e teorema di Land-Colonnetti; applicazioni per travi isostatiche, perstatiche, reticolari, archi, linee di influenza dei movimenti di una sezione; carichi indiretti; deduzione dei valori massimi delle sollecitazioni).

*Parte seconda: gli impalcati* - Lastre di c.a. comprese tra le travi (procedimenti di calcolo, superficie di influenza, questioni pratiche). Lastre di acciaio ortotrope. Reticoli di travi (ripartizione trasversale dei carichi: trasversi indeformabili; trasversi deformabili e soluzione secondo Guyon-Massonnet). Travi composte (acciaio e calcestruzzo). Impalcati a cassone. Richiami su travi precomprese. Travi reticolari.

*Parte terza: le strutture di appoggio* - Pile (pile di limitata altezza; pile snelle; sistemi costruttivi; verifiche per carichi di esercizio; verifiche per effetto di un sisma). Fondazioni (premessa; fondazioni dirette; su pali; con tiranti; fondazioni speciali). Spalle.

*Parte quarta: gli archi* - Premessa. Arco a tre cerniere. Arco a due cerniere e "a spinta eliminata". Arco incastrato ("centro elastico"; la scelta della struttura principale utilizzando le proprietà del centro elastico; linee di influenza; questioni relative ai vincoli). Cenni all'instabilità degli archi.

*Parte quinta: i ponti strallati* - Premessa (soluzioni in acciaio e in c.a.p.). I cavi di sospensione. Stato di sollecitazione e di deformazione (teoria lineare; cenno alla teoria non lineare).

*Esercitazioni:* Progetto di un ponte. Questioni pratiche. Argomenti integrativi delle lezioni (in particolare: normativa, vincoli e collaudo).

*Testi consigliati:*O. BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, vol. II, Ed. Zanichelli.P. POZZATI, *Teoria e tecnica delle strutture*, vol. I, Ed. UTET.M. PIETRANGELI, *Costruzione di ponti*, Ed. ESA.F. LEONHARDT, *C.a. e C.a.p.*, vol. VI - I ponti, Ed. Tecniche.C. CESTELLI GUIDI, *Cemento armato precompresso*, Ed. Hoepli.*Norme:*

D.M. 27/7/85 "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale, precompresso e per le strutture metalliche".

D.M. 2/8/80 "Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo dei ponti stradali".

CIRC. MIN. LL.PP. n° 20977 dell'11/11/80 "Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali".

Per sostenere l'esame è indispensabile aver superato l'esame di Scienza delle Costruzioni e preferibilmente anche quello di Tecnica delle Costruzioni.

*Esami orali.*

*Tesi di laurea.* Indirizzo pratico-applicativo nella progettazione di un ponte e nella valutazione del suo costo.

## **TEORIA E PROGETTO DELLE COSTRUZIONI IN ACCIAIO**

**BO, cds: C**

Docente: **Giuseppe Matildi** prof. ass.

*Finalità dell'Insegnamento:* mettere gli allievi in grado di redigere il progetto di rilevanti strutture metalliche.

### *Programma*

#### **1. I carichi e la sicurezza**

- Richiami sulle ipotesi di carico sulle costruzioni e sui criteri di sicurezza - Normativa.

#### **2. Il materiale**

- Forme e tipi degli acciai da costruzione.
- Cenni alla composizione chimica e ai riflessi sulle caratteristiche meccaniche degli acciai.
- Caratteristiche meccaniche e prove di laboratorio.
- Le imperfezioni strutturali (profili laminati a caldo, profili formati a freddo, profili in composizione saldata).
- Gli acciai e la rottura fragile
- Fenomeni di fatica.
- Gli acciai speciali da carpenteria.

#### **3. Resistenza degli elementi strutturali**

- Stati fondamentali di sollecitazione.
- Criteri di resistenza.

#### **4. Stabilità degli elementi strutturali**

- Richiamo delle questioni fondamentali.
- Integrazioni concernenti il calcolo delle strutture metalliche.
- Criteri di controventamento.

#### **5. I collegamenti degli elementi strutturali**

- Generalità sui collegamenti.
- Unioni chiodate e bullonate.
- Unioni saldate.
- Collegamenti tipici fra elementi strutturali.
- I vincoli fondamentali e il loro calcolo.

#### **6. Le costruzioni civili ed industriali**

- Gli edifici multipiano.
- I fabbricati industriali.

**7. Questioni fondamentali concernenti alcune tipiche strutture metalliche dei ponti**

- Travate in sistema misto acciaio-calcestruzzo.
- Impalcati in piastra ortotropa.
- Ponti strallati.

Le lezioni verranno integrate da una dettagliata illustrazione di progetti esecutivi.

**Testi consigliati:**

- G. BALLO, F.M. MAZZOLANI, *Strutture in acciaio*, ed. ISEDI, Mondadori, Milano.  
 D. DANIELI, F. DE MIRANDA, *Strutture in acciaio per l'edilizia civile ed industriale*, Collana Tecnico-Scient. ITALSIDER, vol. VI, ed. CISIA, Milano.  
 P. MATILDI, M. MELE, *Impalcati a piastra ortotropa ed in sistema misto acciaio-calcestruzzo*, Collana Tecnico-Scient. ITALSIDER, Vol. V, ed. CISIA, Milano.  
 P. POZZATI, *Teoria e tecnica delle strutture*, Vol. II, ed. UTET, Torino.  
 V. ZIGNOLI, *Costruzioni metalliche*, Vol. I e II, ed. UTET, Torino.

**TEORIA E TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE**

**BO, cds: C, M**

Docente: **Giannino Praitoni** prof. ass.

L'insegnamento si propone di fornire gli strumenti analitici e la metodologia sperimentale per la definizione delle varie condizioni di circolazione che si possono presentare sulle diverse reti (stradale, ferroviaria, aerea), con particolare riferimento alla capacità fisica delle infrastrutture, nonché le tecniche e gli strumenti di controllo del fenomeno circolatorio.

**Programma**

**Introduzione**

Approccio allo studio della circolazione: definizione del fenomeno circolatorio, di traffico e circolazione; le tematiche ed i criteri di studio della circolazione.

Richiami sui sistemi e sulle reti di trasporto: definizione di sistema, delle relative componenti fisiche (infrastruttura, veicoli, ecc.) e delle relazioni funzionali (organizzazione) che producono il fenomeno circolatorio (interazioni macroscopiche flusso-infrastruttura).

La caratterizzazione dello stato circolatorio: il modello generale e le variabili significative; i fattori causali dello stato circolatorio: le prestazioni del sistema, il grado di libertà, la disciplina della marcia; sistema a traffico casuale e sistema a traffico programmato.

**Il sistema ferroviario**

Richiami sulle caratteristiche fisiche e funzionali del sistema. Le condizioni di marcia dei convogli e le prestazioni del sistema: la velocità e la frenatura in relazione alla linea.

L'organizzazione della circolazione ferroviaria: principi generali, processo di programmazione e formulazione dell'orario. I metodi di gestione e controllo: sistemi di blocco, regimi di circolazione in linea e nelle stazioni; sistemi di esercizio con DC e DCO; sistemi avanzati di comando-controllo.

La potenzialità del sistema ferroviario: circolazione ideale omotattica e circolazione eterotattica; metodi di calcolo della potenzialità.

### *Il sistema stradale*

Caratteristiche generali del sistema e della circolazione stradale: i concetti di flusso ininterrotto e di flusso interrotto secondo l'HCM; la normativa CNR in confronto con la classificazione HCM; la capacità ed il livello di servizio della rete stradale: definizioni ed obiettivi di calcolo (analisi operativa, progettazione).

Flusso ininterrotto: aspetti teorici e sperimentali, le variabili caratteristiche, il modello generale del deflusso, i metodi di rilevamento delle variabili; valori ed andamenti tipici delle variabili; cenni sulla teoria del deflusso. La valutazione della capacità e del livello di servizio per autostrade, superstrade, strade ordinarie, rampe di svincolo e zone di scambio secondo i criteri dell'HCM.

Flusso interrotto: aspetti generali, separazione spaziale e temporale dei flussi; definizioni e grandezze caratteristiche relative alle intersezioni semaforizzate: il flusso di saturazione, il ciclo, le fasi, la capacità, il grado di saturazione; la definizione e la valutazione del ritardo medio e del livello di servizio; analisi operativa e progetto di una intersezione semaforizzata. Le intersezioni non semaforizzate: geometria e condizioni di traffico, stima della capacità e del livello di servizio. Le rotonde: geometria, dimensioni e condizioni di traffico, stima della capacità.

Cenni sulla regolazione semaforica attuata, e sulla gestione della mobilità nelle aree urbane nell'ambito della normativa PUT.

### *Il sistema aereo*

Aspetti caratteristici, strutturali e funzionali del sistema aereo; cenni sui sistemi e sui metodi di navigazione e sugli strumenti di controllo. La rete aerea ed il sistema aeroportuale. L'ICAO e l'organizzazione degli spazi e dei servizi aerei. L'organizzazione della circolazione aerea: concetti generali, programmazione e gestione del traffico aereo; il Piano di Volo e la gestione del traffico europeo (ATFM). Criteri e metodi del Controllo del Traffico Aereo (ATC): metodo procedurale e metodo radar; metodi avanzati di controllo. Cenni sulla potenzialità del sistema aereo.

*Esercitazioni:* da svolgersi in laboratorio su temi assegnati, mediante pacchetti software.

*Esami:* orali

*Testi consigliati:* dispense redatte dal docente contenenti una ampia bibliografia

## **TERMINALI ED IMPIANTI DEI TRASPORTI**

**BO, cds: C**

Docente: **Giancarlo Foresti** prof. ass.

L'insegnamento indica i criteri di scelta per la progettazione funzionale di terminali ed impianti per i trasporti, specie terrestri: La materia è trattata con taglio pratico e professionale, non trascurando di ricercare e di sviluppare una formulazione teorica di fenomeni conosciuti unicamente a livello empirico. La materia è particolarmente indicata, non solo per gli ingegneri civili trasporti, ma anche per coloro che professionalmente si indirizzeranno verso la progettazione di infrastrutture per i trasporti.

### *Programma*

*Nozioni generali preliminari* – Richiami di tecnica ed economia dei trasporti, di meccanica della locomozione, di infrastrutture stradali e ferroviarie (sotto l'aspetto funzionale), limitatamente ai concetti che sono propedeutici agli argomenti del corso.

1. *I sistemi di trasporto* – Sistema stradale e ferroviario: le reti e gli elementi di base (nodo e linea). Concetto di sagoma limite sia in campo stradale che ferroviario. Capacità degli elementi dei sistemi. Veicoli e loro caratteristiche in relazione al servizio richiesto. Richiami sugli schemi circolatori da adottare in area urbana, con cenni sulla regolazione del traffico stradale mediante impianto semaforico. Nozioni sulla circolazione ferroviaria, sugli apparati di segnalamento, sugli interventi per migliorare la potenzialità. Banalizzazione di una linea. Parametri progettuali connessi con l'alta velocità in ferrovia.

2. *Intermodalità passeggeri e merci* – Come si realizza e con quali dispositivi. Rassegna dei mezzi di movimentazione intermodale, loro caratteristiche e campo d'impiego nei settori terrestre marittimo ed aereo.

3. *Progettazione di terminali ed altre strutture per i trasporti* – Esame tecnico-economico per la determinazione del tipo di impianto da adottare. Esame ambientale per la valutazione della domanda e sua quantificazione per il dimensionamento dell'impianto; scelta dell'ubicazione dell'infrastruttura in relazione alla localizzazione della domanda ed alla struttura delle reti di trasporto. Individuazione dei processi poissoniani nel campo dei trasporti. Studio funzionale e dimensionamento di impianti nodali (autostazioni, porti, interporti, parcheggi ecc.) e di alcuni loro sottosistemi con applicazioni di ricerca operativa.

a) *Parcheggio multipiano per autoveicoli* – Criteri generali per la scelta ubicazionale ed il dimensionamento, schemi funzionali dell'impianto, studio degli accessi e delle uscite e la o relazione con lo stato circolatorio della viabilità circostante. Soluzioni costruttive, anche in relazione alle normative di sicurezza (prevenzioni incendi) e sanitarie oggi in vigore.

b) *Autostazioni*: Criteri per il dimensionamento dell'impianto e la sua localizzazione. Organizzazione funzionale di alcune infrastrutture; dimensionamento del piazzale e delle banchine; relazioni fra impianto e ambiente urbano, in modo da evitare interferenze tra la circolazione dei mezzi e quella dei pedoni.

c) *Depositi bus*. Criteri progettuali di questo nodo logistico di supporto al trasporto urbano, con presentazione di impianti di recente realizzazione.

d) *Stazioni ferroviarie e metropolitane*: impianto tipo, con esame di alcuni elementi di base. Capacità e apparecchiature di segnalamento. Schemi di stazioni di testa e passanti.

e) *Centro smistamento merci*: esame del tipo di movimento merci; altre attività complementari o supplementari svolte nell'ambito di un centro merci; collegamento con le reti stradale e ferroviaria; dimensionamento di massima dei magazzini, della ribalta, dei piazzali; scelta delle attrezzature per la movimentazione delle merci; particolare riferimento all'uso di containers e casse mobili.

f) *Scali ferroviari – portuali – aeroportuali* Vengono illustrate le problematiche generali di questi terminali e sono presi in esame modelli di alcune strutture di recente realizzazione al fine di analizzare gli aspetti applicativi di quanto trattato a livello teorico in relazione anche all'evoluzione dei vettori, ai sistemi di movimentazione intermodale ed alle nuove esigenze della movimentazione intermedia. Visite guidate ad alcuni impianti.

g) *Aeroporti*: Master plan. Capacità di una pista. Organizzazione dell'impianto. Rassegna di nuove realizzazioni in campo internazionale

*Esame* Esami orali: è richiesta al candidato l'esposizione e la discussione di tutti i temi esposti durante lo svolgimento dell'insegnamento

## Bibliografia

M. MATASSA, *Le caratteristiche funzionali degli autoveicoli da trasporto*, Pàtron, Bologna.

M. MATASSA, *Il progetto di massima delle autostazioni passeggeri*, Pàtron, Bologna.

A. ORLANDI, *Teoria delle file d'attesa*, Pàtron, Bologna.

MAYER, *Impianti ferroviari: tecnica ed esercizio*, CIFI.

VICUNA, *Organizzazione e tecnica ferroviaria*, CIFI.

Publicazioni indicate dal docente.

## **TERMODINAMICA APPLICATA L**

**BO, cds: N**

Docente: **Enzo Zanchini** prof. ord.

### **Programma**

#### **Finalità dell'Insegnamento**

L'insegnamento si propone di fornire conoscenze chiare e rigorose sui fondamenti della termodinamica, sui bilanci di energia e di entropia per un volume di controllo, sulle proprietà termodinamiche di sistemi fluidi monocomponenti e multicomponenti in stati monofasici o bifasici, sui principali cicli termodinamici. Tali conoscenze costituiscono una base concettuale e metodologica per lo studio: dei sistemi di conversione e trasferimento dell'energia, dei sistemi di controllo termoigrometrico.

#### **Fondamenti della termodinamica**

Definizioni basilari – Primo principio e definizione della proprietà energia – Bilancio di energia per un sistema chiuso – Sistema semplice, energia interna ed entalpia – Secondo principio – Temperatura termodinamica – Disuguaglianza di Clausius – Definizione della proprietà entropia – Principio di non diminuzione dell'entropia – Flusso e produzione di entropia – Equazione di Gibbs – Regola delle fasi – Motrici termiche e macchine frigorifere fra due serbatoi

#### **Bilanci di energia e di entropia per un volume di controllo**

Sistema quasi-semplice in moto – Ipotesi dell'equilibrio termodinamico locale – Bilanci di energia e di entropia per un volume di controllo – Bilancio combinato e flow availability – Esempi applicativi.

#### **Sistemi semplici monocomponenti**

Energia libera di Helmholtz ed energia libera di Gibbs – Relazioni termodinamiche – Calori specifici – Equazione di stato e diagrammi  $[p,T]$ ,  $[p,v]$  – Gas ideali: equazione di stato e deduzione della legge di Joule; variazioni di energia interna, entalpia ed entropia; valori dei calori specifici – Cenno alle proprietà dei liquidi – Proprietà dei vapori saturi – Equazione di Clapeyron – Cenno alle proprietà dei vapori surriscaldati e dei gas reali – Diagrammi termodinamici  $[T,s]$ ,  $[h,s]$  e  $[p,h]$ .

#### **Sistemi semplici multicomponenti**

Proprietà delle miscele di gas ideali – Entropia di mescolamento – Miscele di aria e vapore d'acqua: titolo e grado igrometrico, diagramma  $[j,x]$ , mescolamento di correnti di aria umida, diagramma psicrometrico

#### **Cicli termodinamici**

Ciclo Otto – Ciclo Diesel – Ciclo Rankine – Ciclo frigorifero a compressione.

*Esame orale.*

**Bibliografia Obbligatoria**

- E. ZANCHINI, *Dispensa di Termodinamica Applicata per Ingegneria Energetica*, disponibile presso la Biblioteca della Facoltà di Ingegneria.
- E. ZANCHINI, *Termodinamica* (Pitagora, Bologna 1993): capitoli 8 e 9; capitoli 11, 12, 13, 14; paragrafo 15.1; capitoli 16, 17, 18, 19.

**TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA**

BO, cds: Q

Docenti: **Giulio Cesare Sarti** prof. ord.

Il primo principio della termodinamica per sistemi chiusi e per sistemi aperti. Legami costitutivi per l'energia interna e per l'entalpia di sostanze pure: calori specifici, calori latenti ed il relativo reperimento dai manuali di uso più comune.

Il secondo principio della termodinamica ed il suo ruolo.

Problemi di lavoro massimo/lavoro minimo; ciclo di Carnot.

Vincolo per le equazioni costitutive ammissibili. Questo punto è sviluppato per sistemi con stato termodinamico spazialmente uniforme e con riferimento a diversi tipi di sostanze dotate di composizione uniforme: a) fluidi perfetti, b) fluidi viscosi, c) solidi elastici, d) fluidi dotati di tensione superficiale, e) miscele di fluidi perfetti e di fluidi viscosi, f) sistemi dotati di variabile di stato interna, sistemi reagenti.

Condizioni di stabilità di stati di equilibrio vincolati. Condizioni di stabilità termica e di stabilità meccanica per le equazioni costitutive.

Proprietà termodinamiche di sostanze pure: fluidi viscosi e solidi elastici soggetti solo a deformazioni isotrope.

Dipendenza delle grandezze specifiche, energia interna, entalpia, entropia, energia libera di Helmholtz, energia libera di Gibbs da temperatura e pressione o temperature e densità. Fugacità e sua dipendenza dallo stato termodinamico.

Tensione di vapore: equazione di Clausius e Clapeyron, di Clapeyron. Equazioni di Antoine e di Wagner, loro uso e reperimento dei dati. Problemi di umidificazione e deumidificazione.

Diagrammi termodinamici di stato: temperatura-entalpia, entalpia-entalpia e pressione-entalpia. Applicazioni.

Cicli di potenza e loro rendimento: Ciclo di Rankine, e di Rankine modificato con surriscaldamenti e/o con spillamenti intermedi; cicli in cascata; cicli relativi a motori a combustione interna a scoppio e Diesel; ciclo Joule per turbine a gas.

Cicli frigoriferi a compressione di vapore e cascate di cicli frigoriferi.

Cicli criogenici.

Equazioni costitutive per la pressione: gas perfetti, equazioni viriali; di Bettie-Bridgeman, di Benedict-Webb-Rubin. Relazioni generalizzate di Watson; fattore acentrico di Pitzer e relazioni generalizzate di Lee-Kessler; equazioni basate su uno o due fluidi di riferimento. Equazioni cubiche: van der Waals, Redlick-Kwong, R.K.-Soave, Peng e Robinson. Regole di mescolamento per le proprietà di miscele.

Calcolo di previsione delle diverse proprietà termodinamiche di sostanze pure

a) mediante relazioni generalizzate basate su temperatura ridotta, pressione ridotta e fattore acentrico

b) mediante le equazioni di stato per la pressione R.K.-Soave e Peng-Robinson.

Calcolo di previsione di temperatura critica, pressione critica, volume critico, fattore acentrico e del calore molare di gas ideale basati sui contributi di gruppo.

### Terzo principio della Termodinamica.

#### Termodinamica di miscele.

Grandezze parziali molari; equazione di Gibbs-Duhem e sue applicazioni.

Potenziali chimici, fugacità, attività e coefficienti di attività di composti in miscela.

Miscele ideali; proprietà.

Miscele non ideali.

Energia libera di eccesso; modelli per miscele non ideali: miscele regolari di van Laar miscele regolari di Hildebrand e Scatchard, miscele atermiche, modelli di Flory-Huggins, di Wilson, NRTL e Uniquac; Modelli previsionali: UNIFAC.

Calcolo di proprietà di miscele da equazioni di stato: regole di mescolamento per metodi generalizzati; regole di mescolamento per equazioni di stato cubiche (R.K.S. e P.R.).

Stabilità di stati di equilibrio per miscele. Condizioni di equilibrio fra fasi. Regole delle fasi.

Equilibri liquido-vapore; volatilità relativa; calcolo della temperatura di ebollizione e di rugiada; diagrammi T-x-y, p-x-y; tecniche di correlazione e di previsione basate su modelli di miscele non ideali. Azeotropi: condizioni sufficienti e condizioni necessarie; variazioni con la temperatura. Studio di stadi di separazione a flash.

Equilibri liquido-liquido; tecniche di correlazione e di previsione basate su modelli di miscele non ideali. Equilibri liquido-liquido-vapore.

Equilibri osmotici, innalzamento ebullioscopico e abbassamento crioscopico.

Equilibri chimici.

Richiami di stechiometria; grado di avanzamento di una reazione. Condizione di equilibrio stabile in presenza di una reazione singola; costante di equilibrio, suo calcolo previsionale; variazioni standard di entalpia, entropia e di energia libera di Gibbs. Calcolo di condizioni di equilibrio per sistemi costituiti da miscele di gas ideali, da miscele gassose reali, da miscele liquide ideali e non ideali.

Condizione di equilibrio stabile in presenza di più reazioni simultanee; reazioni chimiche interdipendenti, calcolo delle condizioni di equilibrio mediante le equazioni di equilibrio e mediante la ricerca di minimi condizionati.

Condizione di equilibrio stabile in presenza di reazioni chimiche e di più fasi; calcolo di equilibri chimici in presenza di fasi gassose e liquide o solide; pressione di decomposizione di solidi.

I diversi esempi applicativi sono relativi a situazioni tipiche dell'ingegneria chimica e di processo.

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale facoltativa.

### Testi di riferimento:

S. SANDLER, *Chemical and Engineering Thermodynamics*, 2a ed., J. Wiley, 1989.

R. REID, J.M. PRAUSUITZ, P. POLING, *The Properties of Gases and Liquids*, McGraw-Hill, 1990.

M.W. MODELL, R.C. REID, *Thermodynamics and its applications*, Prentice Hall, 1974.



**TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA L****BO, cds: Q**Docente: **Serena Bandini** prof. ass.

L'insegnamento costituisce un'introduzione allo studio della termodinamica dell'ingegneria chimica, per quanto concerne sistemi multicomponenti costituiti da più fasi.

Obiettivo del corso è quello di fornire gli elementi di base per la caratterizzazione di sistemi in equilibrio fisico e/o chimico e per il calcolo delle proprietà relative.

**Argomenti principali.**

1. Termodinamica delle miscele.

Grandezze molari parziali, equazione di Gibbs-Duhem e sue applicazioni. Potenziali chimici, fugacità, attività e coefficienti di attività di composti in miscela. Miscele ideali e miscele non ideali. Entalpie di mescolamento e calori integrali di soluzione. Diagrammi entalpia-composizione. Grandezze di eccedenza; modelli per miscele non ideali (cenni).

2. Stabilità di stati di equilibrio per miscele.

Condizioni di equilibrio fra fasi. Regola delle fasi.

3. Equilibri liquido-vapore.

Diagrammi  $(T,x)$  e  $(p,x)$ . Volatilità relativa. Regola della leva. Calcolo delle condizioni di bolla e di rugiada. Azeotropi. Studio di stadi di separazione a flash.

4. Equilibri liquido-liquido-vapore.

5. Innalzamento ebullioscopico ed abbassamento crioscopico.

6. Equilibri chimici.

Reazioni stechiometricamente indipendenti. Richiami di termochimica. Condizioni di equilibrio. Definizione e calcolo della costante di equilibrio. Calcolo di condizioni di equilibrio per sistemi costituiti da miscele di gas ideali, da miscele gassose reali.

Equilibri simultanei. Pressione di decomposizione di solidi.

**Testi consigliati:**SMITH, VAN NESS, ABBOT, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 5a ed., Mc Graw Hill.REID, PRAUSNITZ, POLING, *The properties of gases and liquids*, 4a ed. Mc Graw Hill.S. SANDLER, *Chemical Engineering Thermodynamics*, 2a e 3a ed., Wiley.DENBINGH, *I principi dell'equilibrio chimico*, Casa editrice ambrosiana.

Appunti del docente.

Esame: l'esame consta in una prova scritta ed in una prova orale.

Propedeuticità obbligatorie: Termodinamica applicata L.

**TERMOFLUIDODINAMICA APPLICATA L****FO, cds: clm**Docente: **Giampietro Fabbri** prof. ass.**Finalità del corso:**

Il corso si propone di approfondire le conoscenze di fluidodinamica e di trasmissione del calore presentando agli studenti tecniche analitiche e numeriche per la soluzione dei problemi di maggiore interesse per l'Ingegneria Meccanica.

**Programma:**

**Concetti fondamentali della fluidodinamica:** Grandezze fisiche e unità di misura – Proprietà dei fluidi – Viscosità – Classificazione dei fluidi – Statica dei fluidi – Moto isoterma – Regimi del moto – Numero di Reynolds. – Moto laminare – Moto turbolento – Strato limite dinamico – Equazioni del moto in forma differenziale – Funzione di flusso e di potenziale.

**Soluzione analitica di problemi di moto laminare:** Moto tra pareti piane parallele fisse in regime di avviamento e stazionario – Moto tra pareti piane mobili – Moto in condotto a sezione cilindrica – Moto tra pareti cilindriche fisse – Moto tra pareti cilindriche mobili.

**Metodi numerici per problemi di fluidodinamica:** Differenze finite – Volumi di Controllo – Elementi finiti – Equazioni di bilancio – Funzioni interpolanti – Condizioni al contorno.

**Trasmissione del calore:** Conduzione – Legge ed equazione di Fourier – Esempi di conduzione stazionaria, in regime variabile e con generazione di calore – Convezione – Equazioni del moto non isoterma – Analisi dimensionale – Esempi di convezione forzata, naturale e mista.

**Scambiatori di calore:** Tipi di scambiatori di calore – Distribuzione di temperatura in uno scambiatore a doppio tubo equicorrente e controcorrente – Dimensionamento – Metodo della differenza di temperatura media logaritmica – Metodo e-NTU – Superfici alettate.

**Metodi numerici per problemi di trasmissione del calore:** Differenze finite – Volumi di Controllo – Elementi finiti – Equazioni di bilancio – Funzioni interpolanti – Condizioni al contorno.

**Testi consigliati:**

- A. COCCHI, *Elementi di termofisica generale ed applicata*, Progetto Leonardo, Casa Editrice Esculapio, Bologna, 1990.  
 Y. A. ÇENGEL, *Termodinamica e trasmissione del calore*, McGraw-Hill, Milano 1998  
 G. FABBRI, *Fluidodinamica Applicata - 50 esercizi risolti*, Progetto Leonardo, Casa Editrice Esculapio, Bologna, 1999.

**Esami:** orali e scritti su temi di carattere teorico ed applicativo.

**TERMOTECNICA DEL REATTORE****BO, cds: N**Docente: **Franco Cesari** prof. ass.

L'Insegnamento si propone di approfondire vari aspetti della termoidraulica monofase e bifase

**Programma****A) Meccanica dei fluidi**

Richiami di cinematica dei flussi. Equazioni differenziali ed integrali di conservazione della massa, quantità di moto ed energia. Idrostatica, legge di Laplace. Equazioni di Navier-Stokes e di Eulero. Forma conservativa delle equazioni, condizioni al contorno, forza capillare, analisi dimensionale delle equazioni. Semplici moti oscillatori ed instabilità di Rayleigh-Taylor e di Kelvin-Helmholtz. Bilanci macroscopici per sistemi isotermi, equazione di generalizzata di Bernoulli, perdite di carico concentrate e distribuite. Introduzione ai modelli di turbolenza, tensore degli sforzi di Reynolds, legge della similitudine di Kolmogorov, viscosità turbolenta, modello k-epsilon. Flussi bifase adiabatici e diabatici e mappe dei regimi di flusso. Equazione monodi-

mensionale di bilancio della quantità di moto. Moltiplicatori bifase, modelli di Martinelli e di Baroczy. Perdite di carico concentrate. Instabilità statiche e dinamiche.

#### B) Scambio termico e termoidraulica

Equazione dell'energia totale. Convezione forzata e naturale. Introduzione alla teoria dello strato limite idrodinamico e termico. Numero di Nusselt. Bilanci macroscopici in sistemi non isotermini. Ebollizione omogenea ed eterogenea. Crescita di una bolla in uno strato limite termico e in una piscina. Regimi di ebollizione in un fluido in quiete a contatto con una parete. Condensazione a goccia e a film. Regimi di ebollizione convettiva in condotti. Condensazione interna convettiva.

*Esame:* Prova scritta e orale

#### Bibliografia

Dispense del Docente.

BIRD, STEWART, LIGHTFOOT, *Transport Phenomena*, John Wiley & Sons, Inc. (1960).

POZRIKIDIS, *Introduction to Theoretical and Computational Fluid Dynamics*, Oxford University Press (1997).

VAN P. CAREY, *Liquid-Vapor Phase-Change Phenomena*, Hemisphere Publishing Corporation (1992).

BATCHELOR, *An introduction to Fluid Dynamics*, Cambridge University Press (1967).

TRITTON, *Physical Fluid Dynamics*, Van Nostrand Reinhold (1977).

#### TOPOGRAFIA

**BO, cds: R**

Docente: **Maurizio Barbarella** prof. ord.

#### GEODESIA

**Forma della terra.** Problema del rilievo – Cenni sulla composizione e sul moto della terra – Sistema di coordinate geocentrico. Impostazione classica del rilievo – Campo gravitazionale – Geoidi – Quote ortometriche – Sistema di coordinate naturali – Potenziale normale e perturbativo – Superfici di livello.

Ellissoide di riferimento e suo orientamento – Coordinate ellissoidiche – Ondulazioni del geoidi – Sistemi geodetici (Datum) – Osservabili classici: angoli, distanze, quote ortometriche

**Geometria dell'ellissoide.** Sezioni dell'ellissoide: normali, principali – Raggi di curvatura – Trasformazione tra sistema geografico e geocentrico – Sistema geodetico locale.

**Posizionamento di punti.** Geodetiche – Teoremi geodesia operativa – Sviluppi di Pouseux Weingarten – Superfici approssimate di riferimento: campo topografico e geodetico. Rete geodetica Italiana tradizionale.

#### CARTOGRAFIA

**La rappresentazione cartografica.** Deformazione e moduli – Leggi della rappresentazione – Rappresentazioni conformi, equazione generale – Rappresentazione di Gauss – Uso geodetico della rappresentazione di Gauss.

Il sistema cartografico Gauss Boaga – Il sistema cartografico UTM UPS – La cartografia dell'IGM – Cartografia regionale – Cartografia numerica (cenni).

## TEORIA DEGLI ERRORI

**Probabilità (Richiami):** definizioni, eventi semplici e composti.

**Variabili Casuali. (Richiami)** Variabili continue e discrete – Funzione cumulativa e funzione densità di probabilità mono e bidimensionale – Probabilità associata ad un intervallo di valori: intervallo di confidenza – Parametri di una distribuzione (centralità e dispersione) – Variabile standardizzata – Covarianza e coefficiente di correlazione.

**Campione (Richiami).** Stima di media e varianza campionaria – Caratteristiche di una stima – Criterio di rigetto di dati.

**Propagazione della media e della varianza.** Casi lineare e non lineare, mono e pluridimensionale.

**Compensazione delle osservazioni.** Tipi di errori – Vincoli tra le osservazioni – Ridondanza – Criterio dei Minimi Quadrati.

**Metodo delle osservazioni indirette.** Modello funzionale e statistico – Osservabili con vincoli lineari – Soluzione e calcolo della stima delle incognite – Modelli non lineari e iterazioni – Proprietà statistiche delle stime – Linearizzazione delle equazioni all'angolo azimutale, di direzione e alla distanza – Equazioni al dislivello ed alla base GPS.

**Calcolo di una rete.** Compensazione intrinseca – Analisi dei residui – Precisione di una rete. Inserimento in una rete preesistente: compensazione vincolata e trasformazione conforme.

## RILIEVO

**Reti trigonometriche.** Reti nazionali altimetriche – planimetriche – GPS. Procedura del rilievo: dal generale al particolare – Reti – Inquadramento, appoggio e dettaglio.

**Rilievo planimetrico.** Riduzione delle misure alla superficie di riferimento – Schemi elementari di rilievo: intersezioni (in avanti, laterali, all'indietro), polari (irradiamento), rami di poligonale – Poligonali vincolate e chiuse – Rilievo di dettaglio.

**Rilievo altimetrico.** Tipi di quote e superfici di riferimento – Livellazione trigonometrica: schema, strumentazione necessaria, reciproca, da un estremo – Rifrazione – Precisioni raggiungibili – Livellazione geometrica: schema, strumentazione necessaria – Linea di livellazione: preparazione, esecuzione e controllo – Precisioni raggiungibili nella livellazione geometrica di precisione.

Misura di dislivello ellissoidico tramite GPS e ondulazione.

**Rilievo GPS.** Preparazione e pianificazione – Sessioni e basi indipendenti – Compensazione delle basi – Trasformazione nel sistema nazionale

## STRUMENTI E METODI OPERATIVI DI IMPIEGO

**Misura di angoli. Teodoliti.** Parti costitutive: assi, cannocchiale collimatore, cerchi graduati, apparati di lettura, livelle, sistemi pendolari – Messa in stazione – Metodo di lettura di angoli azimutali: regola di Bessel, strati – Lettura di angoli zenitali – Zenit strumentale.

Teodoliti elettronici. Misure automatiche e memorizzazione dati

**Misura di distanze. Geodimetri.** Principio di funzionamento – Equazione fondamentale – Precisioni strumentali, effetto ambiente.

Stazioni totali. Flusso misure – calcoli.

**Misura di dislivelli. Livelli.** Parti costitutive – Livello di precisione – Stadie invar – Livellazione dal mezzo – Precisione di una battuta e di una linea.

**G.P.S.** Principio di funzionamento del sistema – Segmenti spaziale, di controllo, utente – Il segnale GPS – Errori sistematici – Osservabile pseudo range e fase – Processamento delle basi: differenze di fase, interruzioni, ambiguità.

**Testi consigliati****Appunti di: Integrazioni di Geodesia, Rilievo, Strumenti, GPS, Teoria degli errori**

FOLLONI, *Principi di topografia*, ed. Patron, Bologna.

In particolare ( Geodesia, Cartografia, Probabilità): Cap. 1, par. 1.1, 1.3.1, 1.3.2 (lettura), 1.3.4, 1.3.5; 1.4, 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3; 1.5, 1.5.1, 1.5.2, 1.5.3, 1.5.4, 1.5.5, 1.5.6; 1.6.

Cap. 2, par. 2.1; 2.1.1, 2.1.2, 2.1.5, 2.1.6; 2.2, 2.2.1; 2.3, 2.3.1, 2.3.4, 2.3.5 (tranne punto b), 2.3.6; 2.4, 2.4.1, 2.4.2.

**TOPOGRAFIA L****BO, cds: R**

Docente: **Maurizio Barbarella** porf. ord.

**GEODESIA**

**Forma della terra.** Impostazione classica del rilievo – Campo gravitazionale – Geoide – Quote – Sistemi di coordinate: naturali, geocentriche – Potenziale normale e perturbativo – Superfici di livello. Ellissoide di riferimento e suo orientamento – Coordinate ellissoidiche – Ondulazioni del geode – Principali Sistemi Geodetici (Datum) – Osservabili classici: angoli, distanze, quote ortometriche

**Posizionamento di punti.** Superfici di riferimento semplificate per i rilievi: sfera e piano tangente Rete Geodetica Italiana planoaltimetrica.

**CARTOGRAFIA**

**La rappresentazione cartografica.** Deformazione e moduli – Leggi della rappresentazione – Il sistema cartografico Gauss Boaga – Il sistema cartografico UTM UPS – La cartografia dell'IGM – Lettura carte IGM a scala 1:25000 (Tavolette). *Cartografia numerica (cenni)*.

**TEORIA DEGLI ERRORI**

**Probabilità e Variabili Casuali.** Brevi richiami

*Propagazione della varianza. Casi lineare e non lineare mono dimensionale.*

*Campione. Stima di media e varianza campionaria – Criterio di rigetto di dati.*

**Compensazione.** Compensazione delle osservazioni: principio – Stima di parametri incogniti.

**RILIEVO**

**Reti trigonometriche.** Reti nazionali altimetriche – planimetriche – GPS. – Procedura del rilievo: dal generale al particolare – Reti – Inquadramento, appoggio e dettaglio.

**Rilievo planimetrico.** Riduzione delle misure alla superficie di riferimento – Schemi elementari di rilievo: intersezioni (in avanti, laterali, all'indietro), polari (irradiamento), rami di poligonale – Poligonali vincolate e chiuse – Rilievo di dettaglio.

**Rilievo altimetrico.** Tipi di quote e superfici di riferimento – Livellazione trigonometrica: schema, strumentazione necessaria, reciproca, da un estremo – Rifrazione – Precisioni raggiungibili – Livellazione geometrica: schema, strumentazione necessaria – Precisioni raggiungibili

**Rilievo GPS.** Preparazione e pianificazione – Sessioni e basi indipendenti – Compensazione delle basi – Trasformazione nel sistema nazionale

**STRUMENTI E METODI OPERATIVI DI IMPIEGO**

**Misura di angoli. Teodoliti.** Parti costitutive: assi, cannocchiale collimatore, cerchi graduati, ap-

parati di lettura, livelle, sistemi pendolari – Messa in stazione – Metodo di lettura di angoli azimutali: regola di Bessel, strati – Lettura di angoli zenitali – Zenit strumentale – Teodoliti elettronici.

**Misura di distanze. Geodimetri.** Principio di funzionamento – Equazione fondamentale – Precisioni strumentali, effetto ambiente – Stazioni totali.

**Misura di dislivelli. Livelli.** Parti costitutive: livelle, viti di elevazione – Livello di precisione – Stadi invar – Livellazione dal mezzo – Precisione di una battuta e di una linea.

**G.P.S.** Principio di funzionamento del sistema – Errori sistematici del sistema. – Osservabile pseudo range e fase.

### *Testi consigliati*

Appunti di: Rilievo, Integrazione di geodesia, GPS, Strumenti

### *Testo di consultazione*

BEZOARI, MONTI, SELVINI, *Topografia Generale*.

FOLLONI, *Principi di topografia*, ed. Patron, Bologna.

In particolare (Geodesia, Cartografia, Probabilità):

Cap. 1, par. 1.1, 1.3.1, 1.3.2 (lettura), 1.3.4, 1.3.5; 1.4, 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3; 1.5, 1.5.1, 1.5.2, 1.5.3, 1.5.4, 1.5.5, 1.5.6; 1.6

Cap. 2, par. 2.1; 2.1.1, 2.1.2, 2.1.5, 2.1.6; 2.2, 2.2.1; 2.3, 2.3.1, 2.3.4, 2.3.5(tranne punto b), 2.3.6; 2.4, 2.4.1, 2.4.2

## **TOPOGRAFIA**

**BO, cds: C**

Docenti: **Vladimiro Achilli** prof. ord.

La posizione generale del problema del rilievo: - Richiami analitici e definizione della superficie di riferimento - Il geoide e l'ellissoide terrestre - La geometria dell'ellissoide di rotazione - I fondamenti teorici della geodesia operativa - Determinazione delle coordinate curvilinee dei punti sulla superficie di riferimento - La rappresentazione dell'ellissoide sul piano: le rappresentazioni cartografiche - Teoria della compensazione delle misure - Elementi di statistica e di calcolo delle probabilità - La compensazione delle osservazioni dirette, indirette e condizionate - Strumenti e operazioni di misura: misura di angoli azimutali e zenitali - Misura diretta e indiretta delle distanze - Misura di distanze con onde modulate - Misure dirette e indirette delle differenze di quota: livelli - Operazioni per il rilievo topografico: triangolazioni e trilaterazioni, metodi di intersezione, poligonali, rilievo dei dettagli - Metodi operativi, di calcolo e di compensazione delle diverse fasi di rilievo topografico - Determinazione delle differenze di quota: livellazioni trigonometriche e geometriche - Le operazioni topografiche per il progetto, il tracciamento e il controllo di opere di ingegneria civile - Principi fondamentali del rilievo fotogrammetrico.

### *Testi consigliati:*

G. FOLLONI, *Principi di Topografia*, Pàtron ed.

G. INGHILLERI, *Topografia Generale*, UTET.

Esistono dispense per la parte rilievo e strumenti di misura, non trattata nel testo del Prof. Folloni.

*Esami orali*, preceduti da una prova pratica strumentale obbligatoria per l'ammissione. Si svol-

gono *esercitazioni* pratiche e strumentali facoltative suddividendo gli studenti in gruppo di lavoro di 8-10 unità;

#### *Tesi di laurea*

Le tesi sono a prevalente indirizzo sperimentale. Attualmente i campi operativi di maggiore interesse riguardano la subsidenza ed il controllo geodetico dei movimenti recenti della crosta, e le applicazioni non cartografiche del rilievo fotogrammetrico.

### **TOPOGRAFIA**

**BO, cds: duamb**

Docente: **Luca Vittuari ric.**

Scopo del corso è quello di fornire:

- le basi teoriche e pratiche per l'utilizzo della strumentazione topografica sia di tipo classico (livello, teodolite, stazioni totali), sia satellitare (GPS);
- le conoscenze per la realizzazione e la lettura della cartografia alle diverse scale;
- l'apprendimento delle principali tecniche di rilevamento topografico e di analisi delle osservazioni acquisite.

Un'introduzione alla Geodesia fornisce allo studente le basi per poter comprendere i diversi sistemi di riferimento utilizzati nelle applicazioni geodetiche e cartografiche, sia terrestri che off-shore.

Alcune lezioni monografiche introducono lo studente ad applicazioni pratiche degli argomenti trattati.

Durante il corso potranno essere previsti gruppi di lavoro per l'approfondimento pratico di alcuni temi sviluppati nelle esercitazioni.

Il corso si articolerà in lezioni teoriche, esercitazioni in aula ed esercitazioni pratiche.

L'esame è suddiviso in una prova pratica e una prova orale. La prova pratica consiste nella misura di grandezze topografiche (angoli, distanze, dislivelli). La prova orale verte sui temi trattati nelle lezioni e nelle esercitazioni del corso.

#### **Programma**

**Geodesia:** le superfici equipotenziali e il geoido; l'ellissoide di rotazione; raggi principali di curvatura. Campo topografico e campo sferico, teoremi della Geodesia operativa. Sistemi di coordinate e trasformazione tra coordinate ellissoidiche, geocentriche e cartesiane locali. Sistemi geodetici di riferimento (globali e locali), sistemi di quote e differenze di quote.

**Trattamento statistico delle osservazioni:** tipi di errori; distribuzione normale; stima dei parametri caratteristici di una distribuzione; propagazione della varianza; principio dei minimi quadrati; compensazione delle osservazioni con il metodo delle osservazioni indirette. Verifica dei risultati e delle precisioni raggiunte.

**Rilevamento:** misura dei dislivelli, degli angoli azimutali, zenitali, delle distanze e dei vettori GPS. Elaborazione dei dati di campagna. Reti planimetriche: materializzazione, rilievo e compensazione; metodi di riattacco; poligonali. Reti altimetriche: livellazione trigonometrica; livellazione geometrica; materializzazione, rilievo e compensazione di reti altimetriche. Reti GPS: metodologie di rilievo ed introduzione alla elaborazione delle osservazioni acquisite.

**Strumenti topografici:** principi di funzionamento e di utilizzo di autolivelli, livelli digitali, teodoliti, stazioni totali, distanziometri e ricevitori satellitari GPS.

**Cartografia:** rappresentazione conforme di Gauss; cartografia ufficiale italiana.

Cenni di fotogrammetria area, terrestre, e introduzione ai modelli digitali del terreno.

Durante il corso verrà messo a disposizione del materiale didattico (sia cartaceo che software).

**Testi Consigliati:**

BEZOARI G., SELVINI A., *Manuale di Topografia moderna*, Città Studi Edizioni, Milano.

CINA A., *GPS Principi, modalità e tecniche di posizionamento*, Celid, Torino.

**Testi di consultazione per l'approfondimento dei temi trattati nel corso:**

FOLLONI G., *Principi di Topografia*, Patron.

INGHILLERI G., *Topografia Generale*, UTET.

SANSÒ F., *Il trattamento statistico delle misure*, CLUP, Milano.

**TOPOGRAFIA E FOTOGRAMMETRIA****BO, cds: D**

Docente: **Giuseppe Lombardini** prof. inc.

*(parte prima)***01) La Topografia:**

forma della terra; campo topografico, sferico, ellissoidico.

**02) Strumenti di misura:**

ottici, elettro-ottici, G. P. S..

**03) Ottica strumentale:**

ottica geometrica; lamina pianparallela; prismi; lenti; microscopio semplice; microscopio composto; cannocchiale; l'obbiettivo fotografico.

**04) Misura degli angoli:**

gli strumenti corrispondenti; il teodolite ottico meccanico; il teodolite elettronico; posa in stazione di un teodolite; verifiche e rettifiche di un teodolite; errore residuo di verticalità, errore residuo di orizzontalità, errore residuo di ortogonalità; errori strumentali; eccentricità dell'asse di rotazione, eccentricità dell'asse di collimazione, errore di graduazione dei cerchi; reiterazione; ripetizione; metodi di misura degli angoli; misura degli angoli verticali; riduzione al centro delle osservazioni.

**05) Misura delle distanze:**

con teodolite e stadia verticale; con teodolite e stadia orizzontale; misura elettronica della distanza; effetto della atmosfera sulla misura elettronica; misura diretta della distanza di alta precisione.

**06) Misura dei dislivelli:**

strumenti per la misura dei dislivelli: livelli automatici, livelli con livella torica; lastra pianparallela; verifiche e rettifiche dei livelli; livellazione trigonometrica; livellazione tacheometrica; livellazione geometrica; livellazione barometrica; livellazione idrostatica; quote ortometriche; piano quotato e piano a curve di livello; la rappresentazione altimetrica ed il piano quotato; trasformazione del piano quotato; profili e sezioni del terreno.

**07) Il rilievo in generale:**

criteri di esecuzione; individuazione e segnalizzazione dei punti; monografie; segnali per i rilievi fotogrammetrici.



## 08) Il rilievo:

cenni sulle reti di appoggio; triangolazioni; trilaterazioni; intersezioni: in avanti, laterali ed inverse; poligonali.

## 09) Il rilievo di dettaglio:

generalità; celerimensura; restituzione grafica del dettaglio;

## 10) Cartografia:

cenni storici, lo sviluppo della superficie terrestre sul piano, classificazione delle carte, le proiezioni prospettiche, la proiezione stereografica polare, proiezioni cilindriche e coniche, la cartografia ufficiale italiana, le carte I.G.M.I., le carte catastali, le carte regionali, carte tematiche.

*(parte seconda)*

## 11) La fotogrammetria:

generalità, cenni storici.

## 12) Assunzione delle informazioni:

emulsioni fotografiche e loro supporti, uso dei filtri, la stereoscopia, visione anaglifca, separazione delle immagini con gli stereoscopi, incremento della sensibilità stereoscopica, la marca mobile, le camere aeree, geometria della presa, calibrazione di una camera fotogrammetrica, voli fotogrammetrici, scala media dei fotogrammi, le camere terrestri, la base di presa.

## 13) La trasformazione proiettiva:

relazione proiettiva tra oggetti e immagini, rotazione nel piano, rotazione nello spazio; relazione fra coordinate lastra e coordinate assolute; orientamento esterno di un fotogramma, orientamento della coppia, orientamento relativo e orientamento assoluto; la restituzione per punti nella fotogrammetria dei vicini; oggetti tridimensionali e oggetti piani; deformazione del modello nell'orientamento relativo; influenza della sfericità della terra e della rifrazione atmosferica.

## 14) L'ortoproiezione:

la geometria del raddrizzamento, il raddrizzamento analogico e le condizioni ottico meccaniche, il raddrizzamento differenziale, raddrizzamento differenziale per via analogica.

## 15) Determinazione dei punti di appoggio:

le operazioni topografiche di appoggio, il concatenamento di più fotogrammi, la triangolazione per modelli indipendenti-formazione planimetrica e formazione planoaltimetrica, triangolazione per fasci prospettici.

## 16) Restituzione analitica:

misure di coordinate con i comparatori, restitutori analitici, orientamento interno, orientamento relativo, orientamento assoluto.

## 17) Restituzione analogica:

restitutori a doppia proiezione ottica diretta, restitutori a proiezione ottico-meccanica, restitutori a proiezione meccanica.

## 18) Raddrizzatori e ortoproiettori

## 19) Uso dei fotogrammi aerei:

elementi geometrici di un fotogramma; operazioni sul singolo fotogramma; operazioni sulla coppia di fotogrammi; nozioni semplici di fotointerpretazione; diffusione ed assorbimento, riflettività.

## 20) Produzione cartografica fotogrammetrica:

collaudo della cartografia.

## 21) Rilevamenti:

allineamenti; rilevamenti di piccole estensioni; rilevamento dei fabbricati; rilevamento del loro interno; tracciamento delle sezioni orizzontali (piante) e verticali; proiezioni dei fabbricati su piani ortogonali o obliqui; proiezione dei fabbricati su piani orizzontali; inquadramento topografico dei fabbricati nel territorio.

## 22) Rilevamenti speciali:

il rilievo dell'architettura finalizzato al recupero e al restauro; il rilievo dei particolari costruttivi e architettonici; il controllo e il dimensionamento delle lesioni strutturali; la determinazione metrica del degrado di un'opera architettonica.

**TOPOGRAFIA II**

BO, cds: C

Docente: **Marco Unguendoli** prof. ord.

*Programma*

Richiami ed integrazioni sul trattamento delle misure. Interpretazione statistica dei risultati. Regressioni polinomiali. Adattamento dei dati a curve e superfici date: curve stradali, curve di compattamento del terreno, cilindro, sfera ellissoide. Verifica della congruità geometrica fra progetto ed opera eseguita.

Cenni di geodesia spaziale ed approfondimento delle problematiche relative al GPS con particolare riguardo alle applicazioni non cartografiche: navigazione aerea, terrestre e marittima, movimenti del suolo, metodo differenziale e cinematico, RTK...

Richiami nei sistemi di riferimento e passaggi da uno all'altro.

Rototraslazione con variazione di scala bi e tridimensionale.

Strumenti e tecniche per il rilievo topografico di altissima precisione per applicazioni non cartografiche: strumenti integrati, livello digitale, livelli idrostatici, livello zenitale, collimatori, clinometri, tiltmetri, estensimetri, accelerometri...

Movimenti e deformazioni del terreno e di grandi manufatti.

Stati tensionali del terreno dedotti da misure geodetiche.

Applicazione dei metodi topografici a problemi di Ingegneria:

- tracciamento di opere di ingegneria civile: strade, gallerie, aeroporti, fabbricati
- monitoraggio di movimenti di edifici storici, di dighe, silos
- misure topografiche per il collaudo di grandi strutture: ponti, solai, pensiline, capannoni industriali...

- rilievi speciali: frane, cave, rilievi batimetrici, catasto stradale...

- monitoraggio e controllo di macchine utensili

- calcolo di aree e volumi.

L'Insegnamento sarà completato da esercitazioni pratiche con la strumentazione più moderna.

**TOPOGRAFIA LA**Docente: **Luca Vittuari** ric.

**Geodesia:** le superfici equipotenziali e il geoido; la geometria dell'ellissoide di rotazione. Campo topografico e campo sferico. Teoremi della Geodesia operativa. Sistemi di coordinate e trasformazione tra coordinate ellissoidiche, geocentriche e cartesiane locali. Sistemi geodetici di riferimento (globali e locali), sistemi di quote e differenze di quote.

**Trattamento statistico delle osservazioni:** tipi di errori; distribuzione normale; stima dei parametri caratteristici di una distribuzione; propagazione della varianza; principio dei minimi quadrati. Compensazione delle osservazioni con il metodo delle osservazioni indirette. Verifica dei risultati e delle precisioni raggiunte.

**Tecniche di posizionamento da satellite.** Il sistema GPS: architettura del sistema, struttura del segnale, tecniche di differenziazione delle osservabili. Progetto ed esecuzione di un rilievo, uso di programmi per l'elaborazione dei dati, analisi delle precisioni raggiungibili con diverse metodologie.

Il corso si articola in lezioni teoriche, esercitazioni in aula ed esercitazioni pratiche. L'esame consiste in una prova orale.

**Testi consigliati:**

FOLLONI G., *Principi di Topografia*, Patron, 1982.

BEZOARI G., MONTI C., SELVINI A., *Topografia Generale*, UTET, 2002.

MANZINO A., *Lezioni di Topografia*, ed. OttoComunicazione, Torino, 2001.

**TOPOGRAFIA LB**Docente: **Gabriele Bitelli** prof. straordinario

**Strumenti topografici moderni:** principi di funzionamento e di utilizzo di autolivelli, livelli digitali, teodoliti, stazioni totali, distanziometri.

**Schemi elementari di rilevamento:** misura dei dislivelli, degli angoli azimutali e zenitali, delle distanze. Elaborazione dei dati di campagna. Metodi di riattacco, di intersezione, poligonali, celestemensura moderna. Livellazione trigonometrica. Livellazione geometrica.

**Realizzazione e compensazione di reti.** Reti planimetriche: materializzazione, rilievo e compensazione. Reti altimetriche: materializzazione, rilievo e compensazione. Reti GPS.

**Le rappresentazioni cartografiche:** classificazione delle rappresentazioni e teoria delle carte. La rappresentazione conforme di Gauss ed il suo uso geodetico. La cartografia ufficiale italiana. Cenni sulla cartografia catastale. Cenni sulla cartografia numerica ed i sistemi informativi territoriali.

Cenni di fotogrammetria aerea e terrestre.

Il corso si articola in lezioni teoriche, esercitazioni in aula ed esercitazioni pratiche. L'esame consiste in una prova orale.

**Testi consigliati:**

FOLLONI G., *Principi di Topografia*, Patron, 1982.

BEZOARI G., MONTI C., SELVINI A., *Topografia Generale*, UTET, 2002.

MANZINO A., *Lezioni di Topografia*, ed. OttoComunicazione, Torino, 2001.

**TRASMISSIONE NUMERICA****BO, cds: T**

Docente: **Giovanni Emanuele Corazza** prof. straord

**I Modulo: Teoria della Decisione, Stima e Modulazione Numerica**

*Introduzione* – Architetture e applicazioni dei sistemi di trasmissione numerica.

**1) Strumenti matematici**

*Segnali determinati.* Definizione di energia e potenza. Definizione di segnali a energia finita e a potenza finita. Segnali periodici. Valor medio temporale e componente alternata di segnale di potenza. Correlazione tra segnali a energia finita e a potenza finita. Trasformata di Fourier. Teorema di Wiener-Kintchine. Definizione di banda. Rappresentazione in serie di funzioni ortonormali di base. Principio di ortogonalità. Sviluppo in serie di Fourier. Teorema del campionamento. Campionamento di segnali passa-banda. Esercizi.

*Segnali aleatori.* Classificazione dei processi aleatori. Densità di probabilità marginale, congiunta, condizionata. Teorema di Bayes. Calcolo dei momenti. Stazionarietà in senso lato. Inter-correlazione tra processi stazionari. Processi gaussiani stazionari. Funzione complementare di errore. Funzioni  $Erfc(x)$  e  $Q(x)$ , versioni approssimate. Rumore additivo gaussiano bianco (AWGN). Esercizi.

**2) Teoria della decisione e della stima**

Introduzione alla teoria della decisione e della stima. Definizione di decisione e stima. Generalità. Caratterizzazione parametrica del segnale ricevuto. Classificazione dei problemi di decisione e di stima.

*Teoria della decisione.* Schema a blocchi della decisione. Decisione binaria. Criterio di Bayes. Rischio di Bayes. Estensione ai casi di M ipotesi. Criterio MAP. Criterio ML. Criterio Minimax. Criterio di Neyman-Pearson. Quadro riassuntivo dei criteri di decisione. Esempi applicativi. Statistica sufficiente. ROC. Esercizi.

*Teoria della stima.* Schema a blocchi della stima. Stima di parametro aleatorio. Criterio di Bayes. Rischio di Bayes. Stima MMSE, ABS, MAP. Esempi applicativi. Condizioni per l'ottimalità dello stimatore MMSE. Stima di parametro deterministico incognito. Media e varianza dell'errore di stima. Stimatori non polarizzati. Stima ML. Disuguaglianza di Cramer-Rao (CRB). Stimatore efficiente. CRB modificato. Esempio di calcolo del CRB. Esercizi.

**3) Ricezione numerica**

Modulazione numerica. Introduzione. Spazio dei segnali. Costellazioni. Efficienze della distribuzione in energia, della distribuzione delle distanze, della distribuzione dimensionale. Forme impulsive di base. Condizione di ortonormalità estesa. Funzioni strettamente limitate nel tempo e in banda. Criterio di Nyquist. Teorema di Nyquist sulla simmetria vestigiale. Schemi a blocchi di modulatore e demodulatore numerico. Filtro adattato. Ricezione numerica in AWGN. Rumore rilevante e irrilevante. Statistica sufficiente. Applicazione dei criteri MAP e ML. Esempio di trac-

ciatura delle regioni di decisione. Prestazioni dei ricevitori numerici. Limite dell'unione. Esempio di applicazione: QPSK. Esercizi.

#### 4) *Stima di parametri ausiliari*

Segnali con incertezza parametrica immersi nel rumore. Stima DA, DF, NDA. Incertezza di fase. Cause. Ricevitore non coerente. Demodulatore differenziale. Stima ML di fase implicita ed esplicita. Caso DA. Cramer-Rao bound. Phase Locked Loop (PLL) di vario ordine. Stima di fase in presenza i dati: DF e NDA. Costas Loop. Stimatori "ad hoc": squadratore, elevamento a M. Recupero del sincronismo di simbolo. Stima del ritardo ML. Stima DF. Early-late gate. Stima NDA. Stima di frequenza. Calcolo del funzionale di verosimiglianza. Stima ML esatta. Stima ML approssimata. Formula del CRB. Esercizi.

#### 5) *Ricezione in presenza di distorsione lineare*

Distorsione. Condizioni di non distorsione. Conseguenze della distorsione lineare. Interferenza intersimbolo. MLS. Ricevitore ottimo e problemi di complessità e ritardo. Modello di canale equivalente tempo discreto con rumore bianco. Macchine a stati finiti (FSM). Diagramma di stato e a traliccio. Esempio. Calcolo ricorsivo della metrica. Algoritmo di Viterbi (VA). Percorsi sopravvissuti. ACS. Esempio di applicazione del VA. Equalizzazione lineare. Schema a blocchi. Cenni a criteri ZF e MMSE. Esercizi.

## II Modulo: Teoria dell'Informazione e Codici

### 1) *Introduzione alla teoria dell'informazione*

Definizione di informazione ed entropia. Entropia congiunta e condizionata. Regola della concatenazione. Entropia relativa. Informazione mutua. Regole e teoremi su entropia e informazione mutua. Entropia di processo aleatorio tempo discreto. Esercizi.

### 2) *Capacità del canale*

Capacità del canale DMC. Proprietà della capacità. Esempi di calcolo in forma chiusa. Definizione di codice, ritmo di codifica. Teorema della codifica di canale. Entropia differenziale di variabile aleatoria continua. Entropia di variabile aleatoria gaussiana. Teorema della massima entropia di variabile aleatoria continua. Capacità del canale AWGN tempo discreto e tempo continuo. Relazioni tra efficienza spettrale, capacità e rapporto segnale-rumore. Limite di Shannon. Grafico modulazioni. Esercizi.

### 3) *Codifica a blocchi*

Cenni storici sulla teoria della codifica. Codici a blocco lineari. Codici sistematici. Matrice generatrice. Distanza di Hamming. Proprietà. Rivelazione e correzione degli errori. Matrice di controllo di parità. Sindrome. Codice estensione. Codice accorciato. Esempi di codici a blocco. Esercizi.

### 4) *Codifica convoluzionale*

Definizione e schema a blocchi. Esempio. Polinomi generatori. Diagramma di stato e a traliccio. Distanza di Hamming. Distanza minima e distanza libera. Algoritmo di calcolo della distanza libera. Funzione di trasferimento del codice. Regole per la risoluzione dei grafi. Decodifica di codici convoluzionali. Algoritmo di Viterbi. Prestazioni: limite dell'unione. Esercizi.

**TRASMISSIONE NUMERICA LA**

BO, cds: T

Docente: **Giovanni Emanuele Corazza** prof. straord.**1) Introduzione alla teoria dell'informazione**

Definizione di informazione ed entropia. Entropia congiunta e condizionata. Regola della concatenazione. Entropia relativa. Informazione mutua. Regole e teoremi su entropia e informazione mutua. Entropia di processo aleatorio tempo discreto. Esercizi.

**2) Capacità del canale**

Capacità del canale DMC. Proprietà della capacità. Esempi di calcolo in forma chiusa. Definizione di codice, ritmo di codifica. Teorema della codifica di canale. Entropia differenziale di variabile aleatoria continua. Entropia di variabile aleatoria gaussiana. Teorema della massima entropia di variabile aleatoria continua. Capacità del canale AWGN tempo discreto e tempo continuo. Relazioni tra efficienza spettrale, capacità e rapporto segnale-rumore. Limite di Shannon. Grafico modulazioni. Esercizi.

**3) Codifica a blocchi**

Cenni storici sulla teoria della codifica. Codici a blocco lineari. Codici sistematici. Matrice generatrice. Distanza di Hamming. Proprietà. Rivelazione e correzione degli errori. Matrice di controllo di parità. Sindrome. Codice estensione. Codice accorciato. Esempi di codici a blocco. Esercizi.

**4) Codifica convoluzionale**

Definizione e schema a blocchi. Esempio. Polinomi generatori. Diagramma di stato e a traliccio. Distanza di Hamming. Distanza minima e distanza libera. Algoritmo di calcolo della distanza libera. Funzione di trasferimento del codice. Regole per la risoluzione dei grafi. Decodifica di codici convoluzionali. Algoritmo di Viterbi. Prestazioni: limite dell'unione. Esercizi.

**5) Codifica di sorgente**

Schema a blocchi. Ridondanza statistica. Irrilevanza percettiva. Classificazione dei metodi di codifica di sorgente: lossy e lossless. Codifiche a lunghezza variabile. Vincolo del prefisso. Codici di Huffman. Esempi. Limiti della codifica di Huffman. Algoritmo di Lempel-Ziv. Esercizi.

**TRASPORTI AEREI**

CE, cds: cla

Docente: **Marino Lupi** prof. straord.

**Obiettivi del corso:** Fornire agli studenti le conoscenze sulle caratteristiche dei sistemi di trasporto aereo

**PROGRAMMA****Caratteristiche generali e regolamentazione del trasporto aereo**

Caratteristiche ed evoluzione del traffico aereo commerciale. La regolazione internazionale del trasporto aereo: le "libertà dell'aria", gli accordi bilaterali. La deregolamentazione del tra-

sporto aereo negli USA ed in Europa. La fase detta degli "open skies". Verso una nuova regolamentazione del trasporto aereo.

### **Costi delle compagnie aeree**

Costi di produzione del trasporto aereo. Bilancio di esercizio delle compagnie aeree: costi operativi e non operativi; costi operativi diretti e costi operativi indiretti. Metodi di classificazione dei costi del trasporto aereo. Analisi dei costi operativi diretti di un velivolo per ora di "block-time". Andamento dei costi di produzione del trasporto aereo nel tempo. Economie di scala nel trasporto aereo.

### **Sistemi di trasporto aereo**

Generalità sui sistemi di trasporto. I sistemi di trasporto aereo. Sottosistema della domanda e sottosistema dell'offerta. Interazione fra domanda e offerta nei sistemi di trasporto aereo

### **Domanda di Trasporto Aereo**

Generalità sulla domanda di trasporto. La domanda di trasporto aereo. L'importanza del motivo dello spostamento nell'analisi della domanda di trasporto aereo. Elasticità della funzione di domanda. Fattori che influenzano i livelli e lo sviluppo della domanda di trasporto aereo. Previsione della domanda basata sull'analisi delle serie storiche: vari tipi di proiezione. Modelli causali: modelli non comportamentali e modelli comportamentali. Modelli non comportamentali nella domanda di trasporto aereo: macromodelli di domanda; modelli di domanda "per coppie di città". Calibrazione dei modelli descrittivi. Modelli comportamentali nella domanda di trasporto aereo. Fonti di aleatorietà nella funzione utilità. Il modello "logit" di utilità aleatoria. Caratteristiche e difetti del modello logit. Il modello "nested logit". Il modello "probit". Applicazioni dei modelli di utilità casuale al trasporto aereo. Il problema delle punte nella domanda di trasporto aereo. La determinazione delle tariffe nel trasporto aereo: i diversi approcci. Il ruolo dello "yield management".

### **Reti di Trasporto Aereo**

Il modello aleatorio di scelta dell'itinerario in una rete di trasporto aereo. Problema della pianificazione delle frequenze in una rete di trasporto aereo. Misure di "performance": punto di vista della compagnia, punto di vista dell'utente. Reti di trasporto aereo secondo il modello "hub-and-spoke".

### **Aeroporti**

Classificazione degli aerei commerciali e principali tipologie. Evoluzione nel tempo delle principali caratteristiche: velocità di crociera, produttività, tipologia dei motori. L'"Airport Master Plan": generalità. Le diverse fasi di un "Airport Master Plan": analisi dei requisiti; selezione del sito; schema planimetrico dell'aeroporto; piano finanziario. L'effetto delle caratteristiche di un aereo sulla lunghezza della pista di volo. Classificazione degli aeroporti. Orientamento di una pista di volo in funzione dei venti. L'ubicazione delle piste di volo in relazione alla presenza di ostacoli naturali o artificiali: le superfici limite. Capacità di una pista aeroportuale: generalità. Determinazione della capacità di una pista. Tipi di terminali aeroportuali: a moli, a satelliti, lineare, a "transporter". Inquinamento acustico negli aeroporti. Il rumore come fenomeno fisico e psico-fisiologico. Metodi di misura del rumore aereo: indice "WECPNL" e indice "livello equivalente giorno notte". Principali procedure per la valutazione dei progetti nel campo dei trasporti aerei: l'analisi costi-benefici, l'analisi multicriteria

**ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni consistono in esempi ed applicazioni degli argomenti in programma.

**MODALITÀ DI ESAME**

Prova orale.

**TRASPORTO DI PARTICELLE E DI RADIAZIONE**

BO, cds: N

Docente: **Ruben Angelo Ugo Scardovelli** prof. ass.

*Descrizione dell'Insegnamento*

A partire dalla teoria generale del trasporto di particelle e di radiazione vengono derivate, discusse ed applicate varie forme delle equazioni macroscopiche, quali l'equazione di Navier-Stokes e quelle della magnetofluidodinamica ideale e resistiva, dal punto di vista fisico-matematico e in applicazioni tecnologiche e scientifiche.

*Programma*

1) Plasmi: moto di particelle cariche in campi elettromagnetici variabili nello spazio e nel tempo, invarianti adiabatici, equazioni della magnetofluidodinamica ideale e resistiva, problemi analitici e numerici associati all'equilibrio e alla stabilità dei plasmi in macchine toroidali per la fusione nucleare, discussione dei problemi connessi alla valutazione dei coefficienti del trasporto di massa, energia e momento nei plasmi termonucleari.

2) Applicazioni allo studio del trasporto di fotoni: processi di assorbimento, emissione e scattering, equazione del trasferimento radiativo come equazione di Boltzmann.

*Bibliografia*

Dispense del Docente.

G. SCHMIDT, *Physics of High Temperature Plasmas*, Academic Press, New York, 1979.

*Esercitazioni*

L'insegnamento prevede esercitazioni analitiche e numeriche.

**TRATTAMENTO STATISTICO DEI DATI I**

BO, cds: R

Docente: **Antonio Zoccoli** prof. ass.

**Finalità dell' insegnamento**

Maturazione di concetti basilari dell'analisi dei dati sperimentali e loro trattazione col linguaggio dell'analisi matematica, del calcolo delle probabilità. Acquisizione della metodologia scientifico - tecnica necessaria per affrontare in termini quantitativi i problemi specifici.



## Programma

### Teoria della probabilità.

Concetti fondamentali. Definizione di probabilità. Probabilità classica, frequentistica ed assiomatica. Principali teoremi sulla composizione delle probabilità. Teorema delle ipotesi. Elementi di calcolo combinatorio.

### Misure.

Caratteristica degli strumenti di misura (precisione, sensibilità, etc.). Discrepanza tra due misure e confronto tra due misure. Errori sistematici, casuali, grossolani ed errore assoluto massimo a priori. Errori relativi ed assoluti. Media, scarto quadratico medio e deviazione standard.

### Distribuzioni di probabilità.

Distribuzioni discrete e continue e loro proprietà. La distribuzione di Gauss: Media, varianza, larghezza, intervallo di confidenza. Miglior stima della media e della deviazione standard di un campione. Distribuzione binomiale, di Poisson del  $\chi_2$ .

### Analisi dei dati.

Composizione degli errori. Il criterio di Chauvenet. La media pesata. Coefficiente di correlazione lineare. Covarianza e correlazione. Test delle ipotesi. Metodo dei minimi quadrati e del  $\chi_2$ .

### Ulteriori informazioni

L'insegnamento presuppone familiarità con gli elementi basilari dell'analisi matematica (quali i processi di derivazione, di integrazione e di limite di funzioni di una o più variabili), nonché tematiche e concetti fisici già acquisiti in un corso universitario di Fisica Generale.

Una parte delle lezioni è dedicata alla discussione di quesiti e esercizi. L'esame consiste in una prova scritta e in una eventuale successiva prova orale.

### *Testi consigliati*

J. R. TAYLOR, *Introduzione all'analisi dei dati*, Editore Zanichelli.

M. SPIEGEL, *Probabilità e Statistica*, Collana Sciam, Editore ETAS.

## TURBOMACCHINE

Docente: Pier Ruggero Spina prof. ass.

BO, cds: M

### Finalità del corso

Il corso intende fornire metodologie di base per affrontare la progettazione termofluidodinamica delle turbomacchine. Il percorso logico adottato affronta il dimensionamento "esterno" delle macchine, mediante l'uso di correlazioni statistiche, il dimensionamento monodimensionale, considerando macchine a fluido incomprimibile e comprimibile, l'approccio bidimensionale, con sviluppo ed applicazione di tecniche aerodinamiche.

### Argomenti sviluppati

1) Definizione di turbomacchina; analisi dimensionale e teoria della similitudine; classificazione delle turbomacchine; correlazioni statistiche per il dimensionamento esterno delle turbomacchine.

2) Teoria monodimensionale delle macchine a fluido incompressibile; tracciamento delle linee meridiane di corrente; procedure per il progetto di macchine a flusso radiale e assiale; valutazione dell'influenza del numero finito di pale secondo Stodola e Pfeleiderer; tracciamento del profilo palare con i metodi punto a punto e della rappresentazione conforme.

3) Teoria sul flusso bidimensionale. Aerodinamica dei profili: influenza del numero di Mach, variazione delle prestazioni al variare dell'allungamento e del rapporto spessore/corda. Risultati forniti dalla teoria aerodinamica. Sovrapposizione degli effetti aerodinamici. Profili NACA.

4) Prestazioni dei profili posti in schiera: valutazione dell'effetto schiera, determinazione della geometria delle schiere con i metodi di Weinig, Howell e Carter, disegno della pala e congruenze aerodinamiche.

5) Flusso bidimensionale nelle turbomacchine radiali. Studio del flusso irrotazionale attraverso schiere di pale radiali stazionarie per mezzo della trasformazione conforme. Studio del flusso attraverso giranti radiali: cenni.

6) Equazioni del flusso stazionario unidimensionale comprimibile di un gas perfetto in un condotto; flusso isentropico in un condotto di area variabile.

7) Macchine motrici a fluido comprimibile: lo stadio di turbina assiale, la trasformazione termodinamica, espressione degli angoli di flusso in funzione del grado di reazione e dei coefficienti di lavoro e di portata, criteri di scelta del grado di reazione e dei coefficienti di lavoro e di portata. Funzionamento in condizioni fuori progetto dello stadio di turbina, accoppiamento tra gli stadi, la turbina multistadio, prestazioni globali della turbina. Il raffreddamento delle pale.

8) Macchine operatrici a fluido comprimibile: lo stadio di compressore assiale, la trasformazione termodinamica, funzionamento in condizioni fuori progetto dello stadio di compressore, accoppiamento aerodinamico tra gli stadi, prestazioni globali del compressore assiale multistadio. Il pompaggio e lo stallo rotante.

9) Accoppiamento compressore turbina. La regolazione dei turbogas.

**Esame:** orale

**Propedeuticità consigliate:** Macchine I, Macchine II, Aerodinamica

*Testi consigliati*

BETTOCCHI R., *Turbomacchine*, Pitagora Ed., Bologna, 1986.

*Testi di consultazione*

ACTON O., *Turbomacchine*, UTET, 1986.

ACTON O., CAPUTO C., *Introduzione allo studio delle macchine*, UTET, 1979.

ABBOTT I.H., VON DOENHOFF A.E., *Theory of Wing Sections*, Dover Publications, 1959.

BETTOCCHI R., SPINA, P.R., *Propulsione aeronautica con turbogas* (Appunti tratti dalle lezioni di Propulsione Aerospaziale II) - 2a Edizione - Pitagora Ed., Bologna, 2002.

COHEN H., ROGERS G.F.C., SARAVANAMUTTOO H.I.H., *Gas Turbine Theory*, Longman, 1996.

CSANADY G.T., *Theory of Turbomachines*, McGraw Hill, 1964.

CUMPSTY N.A., *Compressor Aerodynamics*, Longman, 1990.

DIXON S.D., *Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery*, Pergamon Press, 1978.

ECKERT B., *Axialkompressoren und radialkompressoren*, Springer Verlag, 1953.

HILL P.G., PETERSON C.R., *Mechanics and Thermodynamics of Propulsion*, Addison Wesley, 1992.

HORLOCK J.H., *Axial Flow Compressors*, Butterworths, 1958.

- HORLOCK J.H., *Axial Flow Turbines*, Butterworths, 1966.
- LAZARKIEWICZ S., TROSKOLANSKI A.T., *Impeller Pumps*, Pergamon Press, 1965.
- OSNAGHI G., *Macchine fluidodinamiche*, CLUP, Milano, 1979.
- PFLIEDERER C., PETERMAN H., *Turbomacchine*, Tecniche Nuove, 1985.
- POPE A., *Wind Tunnel Testing*, John Wiley & Sons, 1954.
- SANDROLINI S., BORGHINI M., NALDI G., *Turbomacchine termiche. Turbine*, Pitagora, 1992.
- SANDROLINI S., NALDI G., *Macchine 1. Fluidodinamica e termodinamica delle turbomacchine*, Pitagora, 1997.
- SANDROLINI S., NALDI G., *Macchine 2. Le turbomacchine motrici e operatrici*, Pitagora, 1998.
- RIEGELS F.W., *Aerofoil Sections*, Butterworths, 1961.
- VENTRONE G., *Le turbomacchine*, Libreria Cortina, Padova, 1975.
- WISLICENUS G.F., *Fluid Mechanics of Turbomachinery*, Dover Publications, 1965.

## URBANISTICA

BO, cds: D (L-Z)

Docente: Carlo Monti prof. ord.

### 1. Presentazione dei problemi della città e del territorio

La città, il territorio, l'ambiente. La gestione del territorio come processo di piano. Il territorio come risorsa, come sistema di servizi e come ambiente complessivo. Gli strumenti della pianificazione e della progettazione urbanistica.

L'evoluzione dei rapporti città/territorio: dalla città antica, alla città industriale, alla città diffusa. Le reti di città, il marketing urbano, la città sostenibile.

### 2. Trasformazioni territoriali ed evoluzione degli strumenti di governo del territorio

L'evoluzione delle leggi urbanistiche in Italia e il quadro della normativa vigente. Livelli di governo del territorio: competenze e strumenti. La legislazione regionale in materia di territorio, ambiente, edilizia, con particolare riferimento alla Regione Emilia-Romagna. Gli strumenti per la tutela dell'ambiente e le procedure per la Valutazione di Impatto Ambientale.

### 3. Gli strumenti della pianificazione a scala locale.

Il Piano Regolatore Generale: contenuti e modi di attuazione. I metodi di elaborazione, le analisi socioeconomiche, le analisi dell'ambiente fisico, l'analisi della struttura urbana. Il dimensionamento e la normativa. I Piani Particolareggiati, i piani di settore. Il rapporto piano-progetto. Le forme di concertazione fra iniziativa pubblica e privata. La valutazione ambientale e la valutazione economica.

### 4. Le esperienze di pianificazione a scala sovracomunale e regionale

I rapporti fra economia, ambiente e organizzazione degli insediamenti. Le esperienze di pianificazione regionale in Italia e in Europa: i modelli tradizionali di pianificazione territoriale e il loro superamento. I rapporti fra Piano Territoriale, Piano Paesistico, Piani di settore. La pianificazione a scala provinciale e di area metropolitana.

### 5. Le tecniche dell'urbanistica

L'analisi del sito: gli aspetti fisici, le caratteristiche dell'ambiente e del paesaggio, gli aspetti storico-culturali. L'analisi dei tessuti urbani ed extraurbani. Tutela e recupero nei centri antichi e nelle aree extraurbane. Gli standards e gli altri parametri per la regolazione dell'uso del suolo. Le componenti elementari del progetto urbano (i tipi edilizi ed urbanistici, gli spazi e i nodi del si-

stema delle comunicazioni, il progetto delle aree verdi, le opere di urbanizzazione, ecc.). Cartografie tematiche e sistemi informativi per la pianificazione.

### **Il laboratorio progettuale e le esercitazioni**

Le esercitazioni applicative sono finalizzate a fornire gli elementi necessari per l'esperienza di progettazione che gli studenti dovranno svolgere nell'ambito del Laboratorio progettuale di Urbanistica, di cui è titolare per l'anno 2001/2 l'Ing. Maria Rosa Ronzoni.

Secondo l'ordinamento, l'esperienza progettuale del Laboratorio è indispensabile per la formazione dello studente e per il superamento dell'esame.

Il progetto riguarderà la riqualificazione di un'area urbana nell'area di Bologna (o di altre province della Regione); in tale area si studierà l'inserimento di attività "integrate" (residenza, servizi, commercio, uffici, verde, etc.), con l'obiettivo di definire una porzione di spazio urbano.

### *Bibliografia fondamentale del corso*

Testo di base:

MONTI C., *Elementi di Urbanistica*, CLUEB, Bologna 2000.

Altri testi consigliati:

RONZANI, G., *Valutazione ambientale e piani urbanistici*, CLUEB, Bologna, 1992

e, inoltre:

BENEVOLO, L., *Storia dell'architettura moderna*, Ed. Laterza, Bari, Capp. III, XI, XV, Conclusioni).

CAMAGNI, A., *Principi di Economia urbana e territoriale*, La Nuova Italia, 1993.

FIALE, A., *Diritto urbanistico*, 5<sup>a</sup> Ed., Ed. Simone.

MARCONI, P. *Il restauro e l'architetto*, Marsilio Ed., 1993.

MONTI, C., RIGUZZI, G., PRATELLI, A., SECONDINI, P., *Analisi e pianificazione del territorio rurale*, Ed. CLUEB, Bologna, 1985.

RIGUZZI, G., *Analisi e pianificazione dei tessuti urbani. Il caso di Bologna*, Ed. CLUEB, 1993.

SECONDINI, P. (a cura di), *Un laboratorio per la pianificazione*, CLUEB, Bologna, 2000.

## ANNOTAZIONI

## ANNOTAZIONI

01-20 STD ECO



8 032919 996824

[www.colibrisystem.com](http://www.colibrisystem.com)

€ 10,00

CB 3285

ISBN 88-491-2012-5



9 788849 120127