

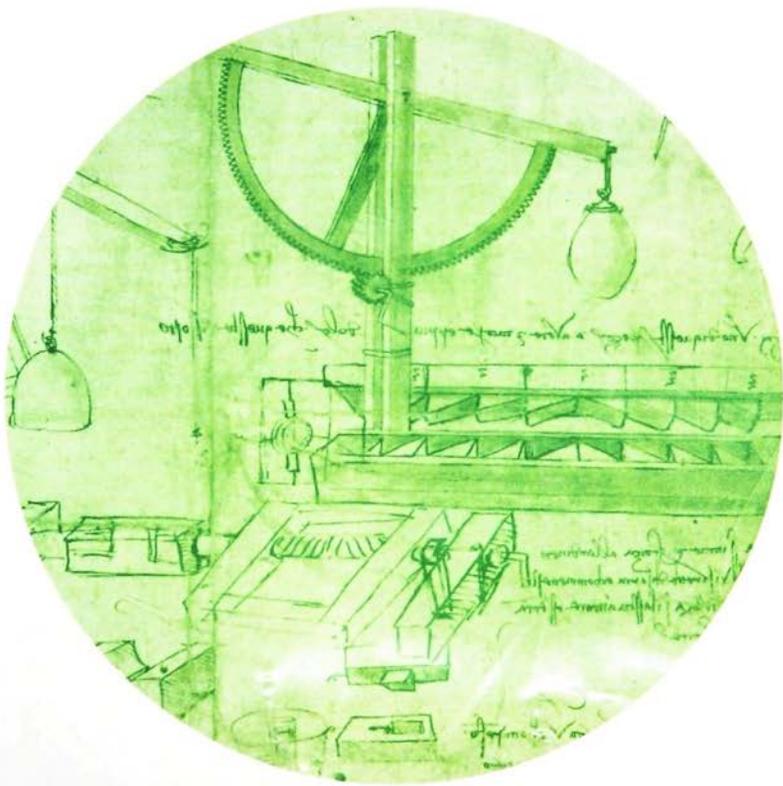
guida

dello studente

Università
degli studi
di Bologna



Facoltà di Ingegneria



Anno accademico 1996-1997



pitagora

CARTOLERIA

**Strumenti
per il disegno**

*Testi
scientifici
specializzati*

MATERIALI PER LA

Grafica

PITAGORA con le sue due cartolerie situate in zona universitaria è in grado di offrire una gamma di articoli vasta e specializzata per l'Università.

Nel negozio di VIA SARAGOZZA 112 (Porta Saragozza) si trovano testi per le Facoltà di Ingegneria e Chimica Industriale, i fogli da disegno squadrate e tutto l'occorrente per il disegno tecnico.

In quello di VIA ZAMBONI 57 vi sono i testi per Matematica, Fisica, Geologia, Scienze Statistiche, Economia e Commercio, Astronomia, Informatica.

In entrambi i negozi si possono inoltre trovare quaderni e blocchi per appunti di tutti i tipi oltre a tutto quanto occorre per scrivere (stilografiche, penne a sfera, ecc.), calcolatrici tascabili e dischetti per computer, schedari e schede, tutti gli articoli di cartoleria compresi alcuni simpatici oggetti come gli stemmi autoadesivi delle Facoltà o i quaderni con lo stemma dell'Università.

VIA ZAMBONI 57

VIA SARAG

**PER TUTTI GLI
UNIVERSITARI
CON 100 PROGETTI
PER LA TESTA
110 PER ESAUDIRLI.**



Subito

un pratico

regalo

all'apertura

del conto !!!

IL CONTOUNIVERSITÀ

110 è il conto corrente per vivere al meglio gli anni dell' Università: operazioni gratuite, carta Bancomat, assicurazioni, agevolazioni per corsi, viaggi, sport, sconti presso negozi e librerie...e la possibilità di concorrere a borse di studio. 110: basi solide per esaudire giorno dopo giorno tutti i tuoi progetti. A partire da oggi. Per saperne di più, ti aspettiamo presso le nostre filiali.



CARISBO
CASSA DI RISPARMIO IN BOLOGNA



CLUEB

P.A. Vesilind, J.J. Peirce, R.F. Weiner

Ingegneria ambientale

pp. 600 circa - L. 70.000 circa, di prossima pubblicazione

G.C. Carloni

Il Vaiont trent'anni dopo. Esperienza di un geologo

pp. 112 - L. 15.000

L. Bruzzi

Prevenzione e controllo nell'impatto ambientale. Criteri e metodi, tecnologie e processi, procedure e normative

pp. 542 - L. 58.000

L. Morselli

Siti contaminati. Procedure di controllo e di bonifica, verso una procedura standardizzata

pp. 298 - L. 70.000

T.G. Bucher

Introduzione alla logica

pp. 392 - L. 48.000

M. Negrotti (a cura di)

Artificialia. La dimensione artificiale della natura umana

pp. 274 - L. 35.000

C. Modonesi

La Professione di Ingegnere

pp. 384 - L. 55.000



Cooperativa
Libreria
Universitaria
Editrice Bologna

Via Marsala 24
40126 Bologna
Tel. 051 22 07 36
Fax 051 23 77 58

www.omega.it/CLUEB



GUIDE

PER LA PUBBLICITÀ SULLA GUIDA DELLO STUDENTE

RIVOLGERSI A:

Publiapi

Pubblicità e Marketing - Via Castiglione, 132 - 40136 Bologna - ☎ 051-581151 - Fax 581287

**Concessionaria esclusiva
per la pubblicità
PUBLIAPI**

**Via Castiglione, 132
40136 Bologna - Tel. (051) 581151 - Fax (051) 581287**

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA

GUIDA DELLO STUDENTE
PER LA FACOLTÀ DI
INGEGNERIA

Anno Accademico 1996-1997

UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
BIBLIOTECA CENTRALE

INV. N°

14264



CLUEB

UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
CORSO DI SCIENZE LETTERARIE
E LETTERE CLASSICHE

ISBN 88-8091-377-8

© 1996

Copyright by Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna
40126 Bologna - Via Marsala 24
Tel. 051 220736 - Fax 051 237758

Finito di stampare nel mese di luglio 1996 in Bologna
dalla Cooperativa Libreria Universitaria Editrice

Copertina/grafica: Studio Origoni e Steiner

PREMESSA

Come negli anni passati, questa Guida è stata realizzata per chiunque sia interessato a conoscere l'organizzazione degli studi della Facoltà di Ingegneria, ma è indirizzata in particolare agli studenti, in via di immatricolazione o già iscritti, ai quali vuole essere di aiuto nelle scelte e nello svolgimento dei loro studi.

Sono indicate, nella Guida, le modalità di accesso agli Studi della Facoltà e sono esposti il Manifesto degli Studi ed i Programmi degli Insegnamenti dei Corsi di Laurea. Gli studenti possono così trovare ampia informazione per una meditata articolazione del proprio curriculum e, in definitiva, per conseguire una preparazione professionale rispondente alle proprie aspirazioni.

Per un corretto inserimento nel percorso didattico e un proficuo svolgimento degli studi resta comunque insostituibile il contatto diretto con chi lavora nella Facoltà e per la Facoltà: gli addetti ai servizi tecnici e amministrativi, gli addetti alla Segreteria studenti e quanti, ricercatori e docenti, sono direttamente impegnati nell'attività didattica e di ricerca per offrire agli studenti il migliore servizio possibile.

Con questa Guida un augurio agli studenti per il loro avvenire nella Facoltà e nella successiva attività professionale.

IL PRESIDE

Prof. Ing. Arrigo PARESCHI

INDICE

	<i>pag.</i>
Ordinamento della Facoltà di Ingegneria	9
Organi ufficiali della Facoltà	11
1 — Consiglio di Facoltà	11
2 — Consigli di Corso di Laurea	11
Strutture didattico-scientifiche	13
1 — Dipartimenti, Istituti e Insegnamenti ad essi afferenti	13
2 — Elenco degli Insegnamenti della Facoltà	19
3 — Equivalenze fra Insegnamenti del nuovo e del vecchio ordinamento	29
Ordine degli Studi A.A. 1996/97	34
1 — Calendario delle lezioni	34
2 — Calendario degli esami	34
3 — Calendario esami di laurea	34
4 — Corsi di Laurea	35
5 — Note esplicative sui Corsi di Laurea e sugli Indirizzi e Orientamenti	60
Dati statistici	77
Normativa di Segreteria	82
1 — Immatricolazione	82
2 — Ammissione di stranieri e di italiani in possesso di titoli di studio stranieri	83
3 — Norme generali relative alla carriera scolastica	85
a) Validità dell'anno e attestazioni di frequenza	85
b) Insegnamenti liberi	85
c) Esami di profitto	85
d) Esami di Laurea o Diploma. Modalità	86
4 — Norme particolari relative alla carriera scolastica nella Facoltà di Ingegneria	87

	<i>pag.</i>
5 — Trasferimenti ad o da altre Università, o Facoltà, o Corsi di Laurea	88
A) Trasferimenti ad altra Università (congedi)	88
B) Trasferimenti da altra Università	88
C) Passaggi da altra Facoltà o Corso di Laurea presso l'Università di Bologna	88
D) Corso di laurea in Ingegneria gestionale - Sede di Bologna - Regole di passaggio al Corso di Laurea	89
E) Alcune norme particolari riguardanti i piani di studio degli studenti provenienti da altra Facoltà di Ingegneria o da altro Corso di Laurea della Facoltà	90
6 — Piani di studio individuali	92
A) Criteri generali della Facoltà per l'applicazione delle leggi n. 910 e n. 924	92
B) Norme di massima per singoli Corsi di Laurea	93
7 — Rilascio di attestazioni e certificati	94
8 — Dispensa dalle tasse e assegno di studio	95
9 — Norme per il rinvio del servizio militare	96
Programmi delle materie di insegnamento	98
Corso di Laurea in Ingegneria Civile e Ingegneria Edile	98
Biennio propedeutico	98
Triennio di applicazione	114
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica	192
Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica	246
Corso di Laurea in Ingegneria Chimica	286
Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale (Sede di Bologna)	322
Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale (Sede di Reggio Emilia)	347
Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il territorio	367
Corsi di Laurea in Ingegneria del Settore dell'Informazione: Elettronica, Informatica, Telecomunicazioni	411
Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare	494

NUOVO ORDINAMENTO DELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA

(dal Decreto Rettorale 3 ottobre 1990 e successive modificazioni)

La Facoltà di Ingegneria può rilasciare le lauree indicate nel sottostante elenco; i corrispondenti Corsi di Laurea possono essere effettivamente attivati in sede di formulazione del Manifesto annuale degli Studi qualora sia assicurata la copertura di tutti gli Insegnamenti necessari e non possono essere disattivati prima di un quinquennio dall'attivazione.

La durata degli studi è di cinque anni. Al compimento degli studi viene conseguito il titolo di «Dottore in Ingegneria ...» con la specificazione del Corso di Laurea seguito:

- 1) Laurea in Ingegneria Chimica.
- 2) Laurea in Ingegneria Civile.
- 3) Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni.
- 4) Laurea in Ingegneria Edile.
- 5) Laurea in Ingegneria Elettrica.
- 6) Laurea in Ingegneria Elettronica.
- 7) Laurea in Ingegneria Gestionale.
- 8) Laurea in Ingegneria Informatica.
- 9) Laurea in Ingegneria Meccanica.
- 10) Laurea in Ingegneria Nucleare.
- 11) Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio.

I predetti Corsi di Laurea sono raggruppati in tre Settori, corrispondenti a vaste aree scientificoculturali e distinti ambiti professionali, a eccezione di quelli di ingegneria Gestionale e di ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, aventi caratteristiche intersettoriali:

- 1) Settore Civile
 - Corsi di Laurea in ingegneria Civile e in ingegneria Edile;
- 2) Settore dell'Informazione
 - Corsi di laurea in ingegneria delle Telecomunicazioni, ingegneria Elettronica, ingegneria Informatica.
- 3) Settore Industriale
 - Corsi di Laurea in ingegneria Chimica, ingegneria Elettrica, ingegneria Meccanica, ingegneria Nucleare.

I predetti Corsi di Laurea possono essere articolati negli sottoindicati Indirizzi (in ambito na-

zionale) e/o in Orientamenti (in ambito locale) definiti annualmente su proposta dei competenti Consigli di Corso di Laurea. Gli Indirizzi possono essere effettivamente attivati in sede di formulazione del Manifesto annuale degli studi qualora sia assicurata la copertura di tutti gli Insegnamenti necessari e non possono essere disattivati prima di un triennio dall'attivazione.

- 1) Corso di Laurea in Ingegneria Chimica.
 - Orientamenti:
 - Ambiente e sicurezza
 - Biotecnologie
 - Gestionale
 - Materiali
 - Processi
- 2) Corso di Laurea in Ingegneria Civile.
 - Indirizzi:
 - Strutture, in Orientamenti
 - Idraulica, in Orientamenti
 - Trasporti, in Orientamenti
- 3) Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni.
 - (Nessun Indirizzo e nessun Orientamento)
- 4) Corso di Laurea in Ingegneria Edile.
 - (6 Orientamenti, con denominazione da definire).
- 5) Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica.
 - Orientamenti:
 - Sistemi per l'energia
 - Macchine e azionamenti
 - Automazione industriale
 - Nuove tecnologie per l'energia
 - Interdisciplinare nel campo dei trasporti
 - Gestionale
 - Indirizzi:
 - Energia
 - Automazione industriale
- 6) Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica.
 - Indirizzi:
 - Biomedica
 - Microelettronica

Orientamenti:

- Bioingegneria
- Calcolatori elettronici
- Comunicazioni elettriche
- Controlli automatici
- Gestionale
- Progettazione elettronica
- Strumentazione elettronica

7) Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale.

Orientamenti:

- Industriale produttivo
- Servizi

8) Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Indirizzi:

- Automatica e sistemi di automazione industriale
- Sistemi ed applicazioni informatici

Orientamenti:

- Gestionale

9) Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Indirizzi:

- Automazione industriale e robotica
- Costruzioni
- Energia

— Materiali

— Produzione

Orientamenti:

- Trasporti

10) Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare

Orientamenti:

- Impiantistico-costruttivo
- Neutronica-plasma

11) Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Indirizzi:

- Ambiente
- Difesa del suolo
- Georisorse
- Geotecnologie
- Pianificazione e gestione territoriale

Orientamenti:

- Ingegneria di processo
- Ingegneria sanitaria
- Ingegneria delle materie prime
- Miniere e cave
- Idrocarburi e fluidi endogeni

Dell'Indirizzo eventualmente seguito viene fatta menzione sul certificato di Laurea.

ORGANI UFFICIALI DELLA FACOLTÀ

di cui fanno parte rappresentanti degli studenti

1) *Consiglio di Facoltà*

— È organo collegiale di governo dell'Università e dirige la Facoltà.

— È composto dai Professori di ruolo e fuori-ruolo della Facoltà, da una rappresentanza dei Ricercatori univesitari confermati e degli Assistenti di ruolo della Facoltà in numero pari ad un quarto di quello dei Professori di ruolo e comunque non inferiore a tre, da una rappresentanza degli studenti iscritti in numero non superiore a venti e non inferiore a cinque, in proporzione al numero degli iscritti e comunque pari al numero dei Corsi di laurea e non superiore ad un quarto del numero dei Professori di ruolo.

I Professori fuori-ruolo non concorrono alla formazione del numero legale.

— Possono parteciparvi con voto consultivo i Professori incaricati di Insegnamento nei Corsi di laurea, secondo quanto previsto dal regolamento di Facoltà.

Le elezioni delle rappresentanze studentesche sono indette ogni due anni con decreto rettorale.

Hanno diritto all'elettorato attivo per ciascuna Facoltà gli studenti che, nell'anno accademico in cui si svolge l'elezione, risultino alla stessa regolarmente iscritti.

Hanno diritto all'elettorato passivo per ciascuna Facoltà gli studenti che, in cui si svolge l'elezione, risultino alla stessa regolarmente iscritti non oltre il secondo anno fuori-corso.

Le candidature per ciascuna Facoltà, sottoscritte con firma autenticata da almeno dieci elettori e controfirmate dal candidato per accettazione, sono depositate in forma scritta al Rettore entro le ore 12 del trentesimo giorno precedente la data dell'elezione.

Le firme sono autenticate presso le Presidenze.

Presso la Facoltà è istituita una Commissione didattica, presieduta dal Preside o da un suo delegato, composta per metà da docenti e ricercatori e per metà da rappresentanti di studenti nel Consiglio di Facoltà, con il compito di valutare l'efficacia della organizzazione didattica anche con riguardo ai problemi di coordinamento fra i diversi corsi di studio, fra docenti e studenti, fra i docenti, fra la Facoltà e i servizi di Segreteria, nonché il funzionamento dei servizi di tutorato.

La composizione e il funzionamento della Commissione sono disciplinati dal Regolamento didattico di Facoltà tenendo conto dei vari corsi di studio.

La Commissione, nell'ambito delle sue competenze, ha poteri di iniziativa nell'ambito del Consiglio di Facoltà, redige annualmente una relazione sullo stato dell'attività didattica formulando proposte idonee a superare eventuali inconvenienti.

La predetta relazione, comprensiva anche delle eventuali opinioni dissenzienti, deve essere presentata al Preside entro il 31 luglio e obbligatoriamente discussa dal Consiglio di Facoltà entro il 31 ottobre.

Sono istituite presso la Facoltà anche le seguenti Commissioni permanenti:

a) censimento e osservatorio scientifico;

- b) edilizia;
- c) finanziamenti;
- d) problemi giuridici e amministrativi;
- e) programmazione.

Le commissioni permanenti

- istruiscono, per le materie di rispettiva competenza e su richiesta del Preside, i punti dell'Odg del Consiglio di Facoltà, formulando motivate proposte di delibera;
- si riuniscono inoltre per rispondere, entro sette giorni quando siano segnalati motivi di urgenza, alle richieste del Preside e del Consiglio di Facoltà e di altri Organi previsti nel predetto Regolamento, e per formulare proposte in merito alle materie di loro competenza.

Per l'espletamento dei propri compiti, le Commissioni permanenti hanno facoltà di raccogliere la necessaria documentazione e di porre quesiti agli altri Organi previsti nel predetto Regolamento.

Ciascuna Commissione permanente si compone di dodici membri, di cui otto Professori di ruolo, due Ricercatori e due studenti, tutti membri del Consiglio di Facoltà; sette degli otto Professori di ruolo sono e i due Ricercatori sono eletti dal Consiglio di Facoltà; l'ottavo Professore di ruolo, che presiede la Commissione, è nominato prima delle elezioni dal Preside quale suo rappresentante. Le componenti dei Ricercatori e degli studenti vengono elette entro quindici giorni dalla proclamazione dei loro rappresentanti nel Consiglio di Facoltà.

2) Consiglio di Corso di Laurea

Sono istituiti undici Consigli di Corso di Laurea (Ingegneria Chimica, Civile, delle Telecomunicazioni, Edile, Elettrica, Elettronica, Gestionale, Informatica, Meccanica, Nucleare, per Ambiente e territorio, delle Telecomunicazioni).

Essi hanno il compito di provvedere alla organizzazione della didattica, alla approvazione dei Piani di studio e alla costituzione delle Commissioni di verifica del profitto degli studenti e dell'esame di Laurea.

Essi inoltre:

- formulano proposte per la copertura degli insegnamenti vacanti e per l'espletamento delle altre attività didattiche;
- svolgono gli altri compiti previsti dal Regolamento di Facoltà;
- possono formulare al Consiglio di Facoltà proposte in ordine ai Piani di sviluppo dell'Ateneo, anche con riguardo alle richieste di personale docente e ricercatore.

I Consigli di Corso di Laurea sono costituiti dai Professori di ruolo, dagli altri Professori ufficiali e dai Ricercatori afferenti al Corso di Laurea a norma del regolamento di Facoltà, che potrà prevedere anche la partecipazione del personale tecnico-amministrativo, dagli studenti del Corso di Laurea eletti nel Consiglio di Facoltà e da una rappresentanza di cinque studenti del Corso di Laurea: hanno diritto all'elettorato passivo gli stessi studenti, con esclusione di coloro i quali siano iscritti oltre il secondo anno fuori-corso, le candidature sono individuali e obbligatorie, devono essere sottoscritte con firma autenticata da almeno cinque elettori e sono firmate dal candidato per accettazione con firme autentiche presso le Presidenze.

STRUTTURE DIDATTICO-SCIENTIFICHE

1) DIPARTIMENTI, ISTITUTI ED INSEGNAMENTI AD ESSI AFFERENTI

D.A.P.T. - Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale

Architettura e composizione architettonica
 Architettura tecnica
 Architettura tecnica
 Caratteri distributivi e costruttivi degli edifici
 Complementi di tecnica urbanistica
 Disegno
 Disegno II
 Elementi di architettura tecnica
 Estimo civile
 Ingegneria del territorio
 Istituzioni di economia
 Organizzazione del cantiere
 Pianificazione territoriale
 Processi industriali applicati all'edilizia
 Progettazione urbanistica
 Progetti per la ristrutturazione e il risanamento edilizio
 Storia dell'architettura
 Storia dell'architettura e dell'urbanistica
 Tecnica urbanistica
 Tecnica urbanistica II
 Tecniche di analisi urbane e territoriali

D.E.I.S. - Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica

Algoritmi di ottimizzazione
 Analisi matematica III
 Automazione e organizzazione sanitaria
 Bioingegneria
 Bioingegneria I
 Bioingegneria II
 Bioingegneria III
 Calcolatori elettronici I
 Calcolatori elettronici II
 Campi elettromagnetici
 Comunicazioni elettriche
 Controlli automatici
 Controlli automatici I
 Controlli automatici I
 Controlli automatici II
 Controllo dei processi
 Elaborazione ottica dei segnali
 Elettronica applicata

Elettronica applicata I
Elettronica applicata II
Elettronica applicata III
Elettronica dello stato solido
Elettronica industriale
Elettronica nucleare
Fondamenti di informatica I
Fondamenti di informatica I
Fondamenti di informatica II
Fondamenti di informatica II
Linguaggi e traduttori
Microelettronica
Microonde
Progettazione automatica dei circuiti elettronici
Reti di telecomunicazione
Reti logiche
Ricerca operativa
Sensori e trasduttori
Sistemi di elaborazione
Sistemi di telecomunicazione
Sistemi informativi I
Strumentazione biomedica
Strumentazione e misure elettroniche
Tecnologie dei sistemi di controllo
Teoria dei circuiti
Teoria dei sistemi
Teoria dei sistemi e del controllo

DI.C.A.S.M. - Dipartimento di Chimica Applicata e Scienza dei Materiali

Analisi strumentale e controllo dei materiali
Biochimica industriale
Chimica Applicata
Chimica
Chimica fisica dei materiali solidi
Chimica organica
Localizzazione dei sistemi energetici
Materiali polimerici
Metallurgia
Scienza dei materiali
Scienza e tecnologia dei materiali ceramici
Scienza e tecnologia dei materiali elettrici
Sviluppo e disegno degli impianti chimici
Tecnologia dei materiali e chimica applicata
Tecnologia dei materiali nucleari

D.I.C.M.A. - Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali

Analisi e simulazione dei processi chimici

Arte mineraria
 Chimica industriale
 Dinamica e controllo dei processi chimici
 Diritto minerario
 Elementi di ecologia
 Elementi introduttivi dell'Ingegneria chimica
 Giacimenti minerari
 Impianti minerari
 Impianti chimici con elementi di disegno
 Impianti chimici II
 Impianti chimici I
 Ingegneria chimica ambientale
 Ingegneria dei giacimenti di idrocarburi
 Laboratorio di impianti chimici con elementi di disegno
 Meccanica dei fluidi nel sottosuolo
 Meccanica delle rocce
 Misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi
 Principi di Ingegneria chimica
 Principi di Ingegneria chimica ambientale
 Principi di Ingegneria chimica II
 Processi biotecnologici ambientali
 Produzione e trasporto degli idrocarburi
 Proprietà termodinamiche e di trasporto
 Tecnica dei sondaggi
 Tecnica della sicurezza ambientale
 Teoria e sviluppo dei processi chimici
 Termodinamica dell'Ingegneria chimica
 Valorizzazione delle materie prime

D.I.E. - Dipartimento di Ingegneria Elettrica

Azionamenti elettrici
 Economia applicata all'Ingegneria
 Elettrotecnica
 Elettrotecnica II
 Impianti di produzione dell'energia elettrica
 Impianti elettrici
 Ingegneria dei materiali elettrici
 Macchine elettriche
 Magnetofluidodinamica applicata
 Materiali per l'Ingegneria elettrica
 Metodologie di progettazione di macchine elettriche
 Misure e collaudo delle macchine e degli impianti elettrici
 Misure elettriche
 Misure elettroniche
 Modellistica dei sistemi elettromeccanici
 Principi di ingegneria elettrica
 Principi di ingegneria elettrica II

Progettazione automatica per l'ingegneria elettrica
 Sensori e trasduttori
 Sistemi elettrici per l'energia
 Sistemi elettronici di potenza negli impianti elettrici
 Tecnica delle alte tensioni
 Tecnologie elettriche II

D.I.E.M. - Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni Meccaniche, Nucleari, Aeronautiche e di Metallurgia

Analisi sperimentale delle tensioni
 Complementi di costruzione di macchine
 Costruzione di macchine
 Costruzione di macchine automatiche e robot
 Costruzione di macchine II
 Dinamica e controllo delle macchine
 Disegno
 Disegno di macchine
 Disegno tecnico industriale
 Impianti industriali
 Impianti meccanici
 Impianti nucleari
 Impianti speciali
 Interazione fra le macchine e l'ambiente
 Macchine
 Macchine I
 Macchine II
 Macchine utensili
 Meccanica applicata alle macchine
 Meccanica applicata alle macchine e macchine
 Meccanica dei robot
 Meccanica delle vibrazioni
 Misure meccaniche e termiche
 Organizzazione della produzione
 Progetti di macchine
 Progetti e costruzioni nucleari
 Servizi generali di impianto
 Strumentazione industriale
 Tecnologia meccanica
 Tecnologie generali dei materiali
 Turbomacchine

D.I.E.N.C.A. - Dipartimento di Ingegneria Energetica, Nucleare e di Controllo Ambientale

Acustica applicata e illuminotecnica
 Elementi di Fisica dei reattori a fissione e a fusione
 Energetica e sistemi nucleari
 Fisica nucleare
 Fisica tecnica

Fondamenti di informatica
 Gestione dell'energia
 Impianti tecnici civili
 Metodi matematici per i reattori nucleari
 Misura delle radiazioni e protezione
 Neutronica applicata
 Reattori nucleari avanzati
 Sicurezza e analisi di rischio
 Tecnica del controllo ambientale
 Tecnologie e applicazioni nucleari
 Termotecnica del reattore
 Trasporto di particelle e di radiazioni

Dipartimento di Fisica

Fisica I
 Fisica II

D.I.S.T.A.R.T. - Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento, del Territorio

Acquedotti e fognature
 Aerodinamica
 Analisi computazionale delle strutture
 Consolidamento dei terreni
 Costruzioni di ponti
 Costruzioni di strade, ferrovie e aeroporti
 Costruzioni di strade, ferrovie e aeroporti II
 Costruzioni idrauliche
 Costruzioni in acciaio
 Costruzioni in zona sismica
 Costruzioni marittime
 Dinamica delle strutture
 Fotogrammeria
 Geofisica applicata
 Geologia
 Geotecnica
 Gestione delle risorse idriche
 Idraulica
 Idrologia tecnica
 Idrologia tecnica II
 Impianti speciali idraulici
 Infrastrutture viarie
 Ingegneria sanitaria ambientale
 Meccanica dei fluidi
 Misure e controlli idraulici
 Misure e modelli idraulici
 Modellistica idraulica
 Pianificazione dei trasporti

Progettazione di sistemi di trasporto
Protezione idraulica del territorio
Scienza delle costruzioni
Scienza delle costruzioni II
Sistemi di trazione
Sperimentazione dei materiali e delle strutture
Strutture di fondazione
Strutture speciali
Tecnica dei lavori idraulici
Tecnica dei lavori stradali, ferroviari e aeroportuali
Tecnica delle costruzioni
Tecnica delle costruzioni II
Tecnica ed economia dei trasporti
Teoria e tecnica della circolazione
Terminali e impianti di trasporto
Topografia
Topografia II

Centro studi di Ingegneria Economico Gestionale

Economia applicata all'ingegneria
Economia e gestione dell'innovazione
Economia ed organizzazione aziendale
Economia politica
Gestione aziendale
Istituzioni di economia politica
Sistemi di controllo di gestione
Sistemi organizzativi

C.I.R.A.M. - Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Applicazioni della Matematica

Analisi matematica I
Analisi matematica II
Calcolo numerico e programmazione numerica
Geometria e algebra
Meccanica razionale

2) ELENCO DEGLI INSEGNAMENTI DELLA FACOLTÀ

Legenda:

— la notazione alfabetica riguarda Insegnamenti dei primi due anni di Corso, quella numerica gli altri tre;

— «informaz.» si riferisce agli iscritti al settore dell'Ingegneria dell'Informazione: Corsi di Laurea in Ingegneria Elettronica (06), Ingegneria Informatica (08) e Ingegneria delle Telecomunicazioni (03);

— «chim.»: Ingegneria Chimica (01); «civ.»: Ingegneria Civile (02); «ed.»: Ingegneria Edile (04); «elettr.»: Ingegneria Elettrica (05); «gest.»: Ingegneria Gestionale (07, BO, sede di Bologna) (18, RE, sede di Reggio Emilia); «mecc.»: Ingegneria Meccanica (09); «nucl.»: Ingegneria Nucleare (10); «amb.»: Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio (11);

— «int.»: Insegnamenti integrati; «sem.»: Insegnamento semestrale.

N.B. - Alcuni Insegnamenti, e i relativi Docenti, sono in corso di definizione.

			<i>pag.</i>
2006	ACQUEDOTTI E FOGNATURE (sem.) (02) (11)	S. Pilati	114
7434	ACUSTICA APPLICATA (04)	M. Garai	115
02	AERODINAMICA (02) (09)	G. Scarpì	192
12087	AFFIDABILITÀ E CONTROLLO DI QUALITÀ (07)	M. Rinaldi	322
11131	AFFIDABILITÀ E DIAGNOSTICA DI COMPONENTI E DI CIRCUITI ELETTRONICI (06)	B. Riccò	411
10381	ALGORITMI DI OTTIMIZZAZIONE (06) (07) (08)	P. Toth	412
11162	ANALISI COMPUTAZIONALE DELLE STRUTTURE (02)	A. Cannarozzi	117
6181	ANALISI DEI SISTEMI (civ.)		98
9941	ANALISI DI SICUREZZA NELL'INDUSTRIA DI PROCESSO	G. Spadoni	
1349	ANALISI MATEMATICA I (civ., ed.)	P.L. Papini	99
1350	ANALISI MATEMATICA I (gest. RE)	E. Obrecht	347
1352	ANALISI MATEMATICA I (informaz. A-D, elettr.)	S. Matarasso	413
1352	ANALISI MATEMATICA I (informaz. E-O)	S. Avenda	413
1352	ANALISI MATEMATICA I (informaz. P-Z, chim.)	C. Pontini	413
1350	ANALISI MATEMATICA I (mecc. A-P)	E. Obrecht	193
1350	ANALISI MATEMATICA I (mecc. Q-Z, nucl., amb.)	G. Citti	193
1353	ANALISI MATEMATICA II (civ., ed.)	A. Malferrari	100
1354	ANALISI MATEMATICA II (gest. RE)	G. Dore	348
1356	ANALISI MATEMATICA II (informaz. A-D, elettr.)	S. Matarasso	415
1354	ANALISI MATEMATICA II (informaz. E-O)	C. Ravaglia	415
1354	ANALISI MATEMATICA II (informaz. P-Z, chim.)	C. Ravaglia	415
1354	ANALISI MATEMATICA II (mecc. A-P)	E. Obrecht	193
1354	ANALISI MATEMATICA II (mecc. P-Z, nucl., amb.)	G. Dore	193
6372	ANALISI MATEMATICA III (informaz. A-K)	G.C. Barozzi	417
6372	ANALISI MATEMATICA III (informaz. L-Z)	D. Guidetti	417
4117	ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI (09)	A. Freddi	194
10426	ANALISI STRUMENTALE E CONTROLLO DEI MATERIALI (sem.) (11)	G. Timellini	367

9941	ANALISI DI SICUREZZA NELL'INDUSTRIA DI PRO- CESSO (01) (07) (11)	G. Spadoni	286
11132	ARCHITETTURA DEI SISTEMI INTEGRATI (06)	R. Guerrieri	418
50	ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTO- NICA (02) (04)	G. Braghieri	118
3870	ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTO- NICA II (02) (04)	G. Praderio	120
51	ARCHITETTURA TECNICA (02)	C. Comani	121
2114	ARCHITETTURA TECNICA I (04)	F. Selva	121
2214	ARCHITETTURA TECNICA II (04)	A.C. Dell'Acqua	122
54	ARTE MINERARIA (11)	P. Berry	368
1679	AUTOMAZIONE ED ORGANIZZAZIONE SANITARIA (06)	C. Lamberti	419
10411	AUTOMAZIONE INDUSTRIALE (05) (07)	G. Basile	244
10411	AUTOMAZIONE INDUSTRIALE (06) (08)	C. Amanti	420
10382	AZIONAMENTI ELETTRICI (05) (10)	D. Casadei	247
10352	AZIONAMENTI ELETTRICI (09)	D. Casadei	195
8127	BIOCHIMICA INDUSTRIALE (01)	F. Fava	287
7940	BIOINGEGNERIA I (06)	G. Gnudi	421
10412	BIOINGEGNERIA II (06)	A. Cappello	423
11133	BIOINGEGNERIA III (06)	E. Belardinelli	425
10383	CALCOLATORI ELETTRONICI I (informaz. A-K)	G. Neri	427
10383	CALCOLATORI ELETTRONICI I (informaz. L-Z)	T. Salmon Cinotti	427
10384	CALCOLATORI ELETTRONICI II (informaz.)	M. Boari	427
9939	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZ. NUMERICA (civ., ed.)	F. Sgallari	100
7941	CAMPI ELETTROMAGNETICI (03) (06) (A-K)	G.C. Corazza	428
7941	CAMPI ELETTROMAGNETICI (03) (06) (L-Z)	V. Rizzoli	428
10006	CARATTERI DISTRIBUTIVI E COSTRUTTIVI DEGLI EDIFICI (02)	L. Gelsomino	123
10006	CARATTERI DISTRIBUTIVI E COSTRUTTIVI DEGLI EDIFICI (04)	A.C. Dell'Acqua	125
11702	CAVE E RECUPERO AMBIENTALE (11)	P. Berry	370
1360	CHIMICA (chim.)	P. Manaresi	289
1357	CHIMICA (civ.)	M. Toselli	102
1357	CHIMICA (ed.)	G. Milani	102
1359	CHIMICA (amb. chim.)	C. Berti	249
1358	CHIMICA (gest. RE)	P. Manaresi	348
1361	CHIMICA (informaz. A-D) (elettr.)	F. Zignani	429
1361	CHIMICA (informaz. E-O)	M. Poloni	429
1361	CHIMICA (informaz. P-Z)	A. Desalvo	429
1358	CHIMICA (mecc. A-K)	B. Fortunato	197
1358	CHIMICA (mecc. L-Z, nucl.)	A. Munari	197
92	CHIMICA APPLICATA (mecc.)	V. Passalacqua	198
11703	CHIMICA APPLICATA (sem.) (amb.)	G. Timellini	371
11703	CHIMICA APPLICATA (sem.) (chim.)	A. Saccani	291
7942	CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI (06)	R. Colle	431
7942	CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI (10)	D. Nobili	494
137	CHIMICA INDUSTRIALE (01)	C. Stramigioli	292
148	CHIMICA ORGANICA (chim.)	L. Marchetti	294
12086	COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA PER L'INGE- NERIA INDUSTRIALE	I. Montanari	251

	<i>pag.</i>
2009 COMPLEMENTI DI TECNICA URBANISTICA (04)	S. Casini 126
192 COMUNICAZIONI ELETTRICHE (07)	G. Corazza 323
192 COMUNICAZIONI ELETTRICHE (informaz. A-K)	L. Calandrino 433
192 COMUNICAZIONI ELETTRICHE (informaz. L-Z)	C. Caini 433
4125 CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI (02) (11)	A. Lembo Fazio 128
7681 CONTROLLI AUTOMATICI (03) (06) (A-K)	E. Sarti 434
7681 CONTROLLI AUTOMATICI (03) (06) (L-Z)	G. Capitani 434
196 CONTROLLI AUTOMATICI (05)	F. Terragni 252
196 CONTROLLI AUTOMATICI (07)	S. Beghelli 325
196 CONTROLLI AUTOMATICI (09)	G. Marro 199
3694 CONTROLLI AUTOMATICI I (informaz.)	G. Bertoni 436
CONTROLLI AUTOMATICI I (sem.) (10)	E. Penati
3695 CONTROLLI AUTOMATICI II (informaz.)	M. Tibaldi 437
CONTROLLI AUTOMATICI II (sem.) (10)	E. Penati 421
4126 CONTROLLO DEI PROCESSI (06) (07) (08)	C. Bonivento 438
1384 COSTRUZIONE DI MACCHINE (01)	V. Dal Re 294
201 COSTRUZIONE DI MACCHINE (09)	G. Bartolozzi 201
1384 COSTRUZIONE DI MACCHINE (10)	S. Curioni 495
201 COSTRUZIONE DI MACCHINE (sem.) (07)	E. Dragoni 326
10414 COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE E RO- BOT (09)	G. Vassura 202
11164 COSTRUZIONE DI MACCHINE II (09)	P.G. Molari 203
198 COSTRUZIONE DI PONTI (02)	M. Merli 128
204 COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AERO- PORTI (02)	A. Bucchi 130
5603 COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AERO- PORTI II (02)	G. Dondi 131
206 COSTRUZIONI IDRAULICHE (02) (11)	A. Brath 132
11704 COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA (02)	P.P. Diotallevi 134
2424 COSTRUZIONI MARITTIME (02)	S. Pilati 135
4053 COSTRUZIONI IN ACCIAIO (sem.) (02)	G. Matildi 136
11705 COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA + INGEGNERIA DEL TERRITORIO (int.)	G. Salizzoni 131
6200 DINAMICA DELLE STRUTTURE (02)	E. Viola 138
8545 DINAMICA E CONTROLLO DEI PROCESSI CHIM. (01)	G. Pasquali 295
10419 DINAMICA E CONTROLLO DELLE MACCHINE (09)	P. Pelloni 204
12089 DIRITTO DELL'ASSETTO TERRITORIALE (sem.) (11)	M. Bernardini 327
2084 DIRITTO MINERARIO (sem.) (01) (11)	D. Bortolotti 373
1362 DISEGNO (civ.)	O. Marinoni 103
1362 DISEGNO (ed.)	R. Mingucci 103
3656 DISEGNO II (civ., ed.)	A. Pratelli 104
1363 DISEGNO DI MACCHINE (mecc., amb.)	F. Persiani 205
9758 DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE (elettr., chim., nucl., amb.)	G. Caligiana 253
9758 DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE (mecc.)	L. Piancastelli 206
6183 ECONOMIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA (05)	N. Luciani 255
ECONOMIA E GESTIONE DELL'INNOVAZIONE	
9268 ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (01) (09) (10) (11)	A. Zanoni 207
251 ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (in- formaz. A-K)	M. Longo 440

		<i>pag.</i>
251	ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (07)	A. Zanoni 332
251	ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (informaz. L-Z)	A. Grandi 440
	ECONOMIA E GESTIONE DELL'INNOVAZIONE	A. Grandi 331
256	ECONOMIA POLITICA (07) (11)	A. Romagnoli 329
256	ECONOMIA POLITICA (gest. RE)	A. Romagnoli 350
11134	ELABORAZIONE DI DATI E SEGNALI BIOMEDICI (06)	M. Ursino 441
10406	ELABORAZIONE OTTICA DEI SEGNALI (06) (03)	P. Bassi 443
7943	ELEMENTI DI ECOLOGIA (amb.)	374
7944	ELEMENTI DI FISICA DEL REATTORE A FISSIONE E A FUSIONE (10)	V. Molinari 497
11707	ELEMENTI INTRODUTT. DI INGEGNERIA CHIMICA (sem.) (chim.)	C. Stramigioli 297
270	ELETTRONICA APPLICATA (05)	V.A. Monaco 256
2438	ELETTRONICA APPLICATA I (informaz. A-K)	S. Graffi 444
2438	ELETTRONICA APPLICATA I (informaz. L-Z)	P.U. Calzolari 444
	ELETTRONICA APPLICATA I (sem.) (07, 09, 10)	A. Guidi
2439	ELETTRONICA APPLICATA II (informaz. A-K)	B. Riccò 446
2439	ELETTRONICA APPLICATA II (informaz. L-Z)	G. Masetti 446
	ELETTRONICA APPLICATA II (sem.) (07, 09, 10)	A. Guidi 431
10907	ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI (06) (08)	G. Baccarani 447
8862	ELETTRONICA DELLO STATO SOLIDO (06)	M. Rudan 448
2037	ELETTRONICA INDUSTRIALE (05) (06) (08)	F. Filicori 257
10425	ELETTRONICA APPLICATA + CONTROLLI AUTOMATICI I (int.) (07) (09) (10)	A. Gnudi 498
10425	ELETTRONICA APPLICATA + CONTROLLI AUTOMATICI II (int.) (07) (09) (10)	E. Penati 499
6793	ELETTROTECNICA (01)	M.L. Ambrosini 298
6794	ELETTROTECNICA (07)	F. Negrini 333
6794	ELETTROTECNICA (09)	R. Sacchetti 209
8082	ELETTROTECNICA (10)	F. Negrini 500
6794	ELETTROTECNICA (gest. RE)	I. Montanari 351
275	ELETTROTECNICA (informaz. A-D)	F. Ciampolini 450
275	ELETTROTECNICA (informaz. E-O)	P.R. Ghigi 450
275	ELETTROTECNICA (informaz. P-Z)	M. Martelli 450
275	ELETTROTECNICA (sem.) (02, 04, 11, A-K)	F. Filippetti 140
275	ELETTROTECNICA (sem.) (02, 04, 11, L-Z)	R. Miglio 140
279	ELETTROTECNICA II (sem.) (11) (02)	F. Filippetti 375
7972	ENERGETICA E SISTEMI NUCLEARI (10)	M. Spiga 502
2429	ESTIMO (sem.) (04)	A. Corlaita 105
2429	ESTIMO (sem.) (civ. ed.) (gest. BO)	A. Corlaita 105
4621	FINANZA AZIENDALE	334
1366	FISICA I (civ. A-K, ed. A-K)	I. Massa 106
1366	FISICA I (civ. L-Z, ed. L-Z)	M. Capponi 106
1367	FISICA I (gest. RE)	G. Cambi 354
1369	FISICA I (informaz. A-D, elettr.)	A. Gandolfi 451
1369	FISICA I (informaz. E-O)	A. Uguzzoni 451
1369	FISICA I (informaz. P-Z, chim.)	E. Verondini 451
1367	FISICA I (mecc. A-Q)	M. Capponi 210
1367	FISICA I (mecc. R-Z, nucl., amb.)	A. Zoccoli 210
1370	FISICA II (civ., ed.)	M. Bruno 108

	<i>pag.</i>
1371 FISICA II (gest. RE)	356
1372 FISICA II (informaz. A-D, elettr.)	452
1372 FISICA II (informaz. E-O)	452
1372 FISICA II (informaz. P-Z, chim.)	452
1371 FISICA II (mecc. A-O)	211
1371 FISICA II (mecc. P-Z, nucl., amb.)	211
422 FISICA NUCLEARE (nucl.)	503
6797 FISICA TECNICA (01) (05) (10)	258
430 FISICA TECNICA (02) (04) (11)	141
6798 FISICA TECNICA (informaz. A-D)	453
6798 FISICA TECNICA (informaz. E-O)	453
6798 FISICA TECNICA (informaz. P-Z)	453
6796 FISICA TECNICA (mecc.)	212
430 FISICA TECNICA (sem.) (11)	376
430 FISICA TECNICA (sem.) (07)	335
9730 FONDAMENTI DI INFORMATICA (civ. ed.)	109
9730 FONDAMENTI DI INFORMATICA (elettr.)	109
9730 FONDAMENTI DI INFORMATICA (gest. RE)	259
9730 FONDAMENTI DI INFORMATICA (mecc. A-O)	357
9730 FONDAMENTI DI INFORMATICA (mecc. P-Z, chim.)	213
9730 FONDAMENTI DI INFORMATICA (nucl., amb. civ.)	213
7945 FONDAMENTI DI INFORMATICA I (informaz. A-D)	377
7945 FONDAMENTI DI INFORMATICA I (informaz. E-O)	455
7945 FONDAMENTI DI INFORMATICA I (informaz. P-Z)	455
7946 FONDAMENTI DI INFORMATICA II (informaz. A-K)	455
7946 FONDAMENTI DI INFORMATICA II (informaz. L-Z)	456
1656 FOTOGRAFIA (02) (11)	456
5724 GEOFISICA APPLICATA (11)	142
464 GEOLOGIA (sem.) (02)	378
464 GEOLOGIA APPLICATA (amb., indirizzi 1, 5)	143
464 GEOLOGIA APPLICATA (amb., indirizzi 2, 3, 4)	380
9757 GEOMETRIA E ALGEBRA (civ.)	379
9757 GEOMETRIA E ALGEBRA (ed.)	109
9757 GEOMETRIA E ALGEBRA (gest. RE)	109
9757 GEOMETRIA E ALGEBRA (informaz. A-D, elettr.)	358
9757 GEOMETRIA E ALGEBRA (informaz. E-O)	457
9757 GEOMETRIA E ALGEBRA (informaz. P-Z, chim.)	457
9757 GEOMETRIA E ALGEBRA (mecc. A-O)	457
9757 GEOMETRIA E ALGEBRA (mecc. P-Z, nucl., amb.)	214
10203 GEOTECNICA (02) (04) (11)	214
1677 GESTIONE AZIENDALE (07)	144
11165 GESTIONE DELL'ENERGIA (05) (07)	336
1724 GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE (sem.) (02) (11)	337
482 GIACIMENTI MINERARI (11)	146
490 IDRAULICA (02) (11)	382
490 IDRAULICA (04) (07)	146
4135 IDROGEOLOGIA APPLICATA (sem.) (11)	146
4688 IDROLOGIA TECNICA (02) (11)	146
11167 IDROLOGIA TECNICA II (sem.) (02)	383
10404 IMPIANTI BIOCHIMICI (01)	149
	148
	299

		<i>pag.</i>
503	IMPIANTI CHIMICI I (01)	U. Lelli 300
502	IMPIANTI CHIMICI II (01)	G. Camera Roda 301
11135	IMPIANTI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA (05)	
5843	IMPIANTI ELETTRICI (05) (07)	C.A. Nucci 260
10420	IMPIANTI INDUSTRIALI (06) (07) (09) (18)	G. Pattini 262
515	IMPIANTI MECCANICI (09)	A. Pareschi 215
516	IMPIANTI MINERARI (11)	S. Fabbri 216
517	IMPIANTI NUCLEARI (10)	Sante Fabbri 384
4766	IMPIANTI SPECIALI (09)	E. Sobrero 504
518	IMPIANTI SPECIALI IDRAULICI (02)	M. Gentilini 217
11708	IMPIANTI TECNICI (02) (04)	P. Lamberti 149
11709	INFRASTRUTTURE VIARIE (02)	A. Cocchi 150
11137	INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE (01) (11)	G. Marchi 151
12090	INGEGNERIA DEGLI SCAVI (11)	A. Gatta 303
11138	INGEGNERIA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI (11)	Sante Fabbri 385
10410	INGEGNERIA DEI MATERIALI ELETTRICI (05)	G.L. Chierici 386
	INGEGNERIA DEL SOFTWARE	L. Simoni 263
9043	INGEGNERIA DEL TERRITORIO (02) (04) (11)	E. Lamma 458
11139	INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE (02) (11)	G. Salizzoni 152
11710	INGEGNERIA SANITARIA II (11)	G.L. Bragadin 153
7158	INTELLIGENZA ARTIFICIALE (06) (08)	M. Mancini
11168	INTERAZIONE FRA LE MACCHINE E L'AMBIENTE (09) (11)	P. Mello 459
8325	ISTITUZIONI DI ECONOMIA (sem.) (civ., ed.)	A. Gambarotta 389
10408	LINGUAGGI E TRADUTTORI (06) (08)	A. Romagnoli 110
10385	LOCALIZZAZIONE DEI SISTEMI ENERGETICI (sem.) (10) (11)	A. Natali 461
10269	LOGISTICA INDUSTRIALE (01) (05) (07) (09)	
663	MACCHINE (01)	C.M. Orlandelli 505
8074	MACCHINE (05)	A. Pareschi 218
4313	MACCHINE (10)	G. Cantore 304
11169	MACCHINE (int.) (11)	G. Negri di Montenegro 506
663	MACCHINE (sem.) (02)	G. Negri di Montenegro 506
663	MACCHINE (sem.) (07)	A. Gambarotta 392
666	MACCHINE ELETTRICHE (05)	M. Gambini 155
2078	MACCHINE I (09)	G. Cantore 338
667	MACCHINE II (09)	G. Serra 265
667	MACCHINE II (sem.) (02)	G. Negri di Montenegro 219
670	MACCHINE UTENSILI (09)	G. Minelli 220
10008	MAGNETOFLUIDODINAMICA APPLICATA (05) (06) (10)	M. Gambini 155
11140	MATERIALI PER L'INGEGNERIA ELETTRICA (05)	O. Zurlo 221
10019	MATERIALI POLIMERICI (01)	C.A. Borghi 266
8073	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (05)	E. Goracci 268
8073	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (06) (08)	A. Maggiore 269
687	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (07)	V. Parenti Castelli 462
687	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (09)	G. Dalpiaz 338
10385	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (10)	U. Meneghetti 222
11169	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (int.) (11)	A. Maggiore 507
4294	MECCANICA DEI FLUIDI (09)	G. Dalpiaz 392
7947	MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO (sem.) (11)	A. Lamberti 223
		G. Brighenti 394

	<i>pag.</i>
10415 MECCANICA DEI ROBOT (09)	V. Parenti Castelli 225
4114 MECCANICA DELLE ROCCE (11)	A. Paretini 395
710 MECCANICA DELLE VIBRAZIONI (09)	U. Meneghetti 227
1378 MECCANICA RAZIONALE (civ., ed.)	T.A. Ruggeri 111
1379 MECCANICA RAZIONALE (gest. RE)	A. Muracchini 360
1381 MECCANICA RAZIONALE (informaz. A-D, elettr.)	P.P. Abbati Marescotti 464
1381 MECCANICA RAZIONALE (informaz. E-O)	B. Lazzari 464
1381 MECCANICA RAZIONALE (informaz. P-Z, chim.)	A. Muracchini 464
1379 MECCANICA RAZIONALE (mecc. A-O)	B. Lazzari 228
1379 MECCANICA RAZIONALE (mecc. P-Z, nucl., amb.)	M. Fabrizio 228
3727 METALLURGIA (01)	G. Poli 306
9940 METODI MATEMATICI PER I REATTORI NUCLEARI (10)	T. Trombetti 508
11141 METODOLOGIE DI PROGETTAZIONE DI MACCHINE ELETTRICHE (05)	A. Grande 270
5702 MICROELETTRONICA (informaz.)	M. Rudan 466
2191 MICROONDE (03) (06)	A. Costanzo 468
5725 MINERALOGIA E PETROGRAFIA (11)	R. Mezzetti 397
730 MISURA DELLE RADIAZIONI E PROTEZIONE (10)	P. Amadesi 509
11142 MISURE E COLLAUDO DI MACCHINE E IMPIANTI ELETTRICI (05)	R. Sasdelli 272
10204 MISURE E CONTROLLI IDRAULICI	I. Daprà 156
731 MISURE E CONTROLLI NEI GIACIMENTI DI IDRO-CARBURI (11)	E. Mesini 398
732 MISURE ELETTRICHE (05)	A. Burchiani 271
1386 MISURE ELETTRICHE (informaz. L-Z)	D. Mirri 468
1386 MISURE ELETTRICHE (informaz. A-K)	M. Rinaldi 468
1140 MISURE MECCANICHE E TERMICHE (09)	G. Minelli 229
11192 MODELLI NUMERICI PER I REATTORI NUCLEARI (10)	V. Colombo 512
10386 MODELLISTICA DEI SISTEMI ELETTROMECCANICI (05)	G. Tani 273
10386 MODELLISTICA DEI SISTEMI ELETTROMECCANICI (06) (08)	D. Casadei 470
14711 MODELLISTICA E CONTROLLO DEI SISTEMI AMBIENTALI (11)	E. Belardinelli 399
11712 MODELLISTICA IDRAULICA (02)	G. Scarpi 156
4140 NEUTRONICA APPLICATA (10)	M. Sumini 513
11170 ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE (02) (04)	C. Comani 157
10416 ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE E DEI SISTEMI LOGISTICI (06) (07) (08) (09)	G. Bartolozzi 230
4679 PIANIFICAZIONE DEI TRASPORTI (07)	G. Praitoni 158
3568 POLITICA ECONOMICA (07)	N. Luciani 339
10402 PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE (01) (07) (11)	F.P. Foraboschi 311
6417 PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA I	F. Santarelli 307
4641 PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II (01)	F.P. Foraboschi 310
11714 PRINCIPI DI INGEGNERIA ELETTRICA I (05)	U. Reggiani 274
11715 PRINCIPI DI INGEGNERIA ELETTRICA II (05)	R. Miglio 276
11352 PRINCIPI E METODOLOGIE DELLA PROGETTAZIONE MECCANICA (09) (10)	A. Freddi 233
11143 PROCESSI BIOTECNOLOGICI AMBIENTALI (11)	C. Gostoli 401

		<i>pag.</i>
816	PRODUZIONE E TRASPORTO DEGLI IDROCARBURI (11)	G. Gottardi 401
10388	PROGETTAZIONE AUTOMATICA PER L'INGEGNERIA ELETTRICA	I. Montanari 277
10422	PROGETTAZIONE DI SISTEMI DI TRASPORTO (02) (09)	M. Matassa 159
11353	PROGETTAZIONE PER L'EDILIZIA INDUSTRIALIZZATA (04)	F. Selva 160
8078	PROGETTAZIONE URBANISTICA (04)	C. Porrino 162
11351	PROGETTI E COSTRUZIONI NUCLEARI (10)	F. Cesari 514
8079	PROGETTI PER LA RISTRUTTURAZIONE E IL RISANAMENTO EDILIZIO (02, 04)	G. Cuppini 163
11144	PROGETTO DI CIRCUITI A MICROONDE (06)	A. Lipparini 472
10389	PROPAGAZIONE (03) (06)	G. Falciaisecca 473
5802	PROPRIETÀ TERMODINAMICHE E DI TRASPORTO (01)	F. Doghieri 312
11172	PROTEZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO (02) (11)	A. Bizzarri 165
11193	REATTORI NUCLEARI AVANZATI (10)	F. Premuda 516
11145	RETI DI CALCOLATORI (06) (08)	A. Corradi 474
10390	RETI DI TELECOMUNICAZIONI (03) (06) (07)	G. Corazza 475
5579	RETI LOGICHE (informaz. A-K)	R. Laschi 476
5579	RETI LOGICHE (informaz. L-Z)	E. Faldella 476
884	RICERCA OPERATIVA (07)	P. Toth 341
884	RICERCA OPERATIVA (informaz.)	S. Martello 477
11146	ROBOTICA INDUSTRIALE (06) (08) (09)	C. Melchiorri 478
2235	SCIENZA DEI MATERIALI (01) (07) (09)	F. Sandrolini 313
886	SCIENZA DEI METALLI (09)	G. Poli 235
8075	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (01) (05) (10)	G. Pascale 315
890	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (02, L-Z) (04, L-Z)	A.A. Cannarozzi 166
890	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (02, A-K) (04, A-K) (11)	A. Di Tommaso 166
6802	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (06) (03)	E. D'Anna 479
6801	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (09)	E. Viola 236
11354	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (sem.) (07)	A. Di Leo 342
2144	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI II (02)	E. D'Anna 167
10405	SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI CERAMICI (01)	C. Palmonari 317
7949	SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI ELETTRICI (elett.)	A. Motori 278
10413	SENSORI E TRASDUTTORI (informaz.) (05) (06)	S. Pirani 279
10421	SERVIZI GENERALI DI IMPIANTO (07) (09)	G. Coli 237
10391	SICUREZZA E ANALISI DI RISCHIO (07) (10)	C.M. Orlandelli 517
11147	SISTEMI DI COMMUTAZIONE (03) (06)	C. Raffaelli 480
10392	SISTEMI DI ELABORAZIONE (06) (08)	R. Rossi 482
10393	SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE (03) (06)	O. Andrisano 483
6776	SISTEMI DI TRAZIONE (02) (05) (09)	M. Matassa 238
1148	SISTEMI ELETTRICI PER L'ENERGIA (03) (05)	C.A. Nucci 280
10394	SISTEMI INFORMATIVI I (informaz.) (07)	P. Tiberio 345
10394	SISTEMI INFORMATIVI I (informaz.)	P. Tiberio 484
11149	SISTEMI INFORMATIVI II (informaz.)	D. Maio 495
11149	SISTEMI INFORMATIVI II (06) (07) (08)	M.R. Scalas 485
10409	SISTEMI ELETTRONICI DI POTENZA NEGLI IMPIANTI ELETTRICI (05)	M. Loggini 282

		<i>pag.</i>
11716	SISTEMI DI CONTROLLO DI GESTIONE + SISTEMI ORGANIZZATIVI (int.) (18)	A. Zanoni 343
3971	SPERIMENTAZIONE DEI MATERIALI E DELLE STRUTTURE (sem.) (02)	A. Di Leo 169
2736	STORIA DELL'ARCHITETTURA (04)	R. Fregna 170
5570	STORIA DELL'ARCHITETTURA E DELL'URBANI- STICA (04)	G. Gresleri 171
4152	STRUMENTAZIONE BIOMEDICA (06)	G. Avanzolini 486
10407	STRUMENTAZIONE E MISURE ELETTRONICHE (03) (06)	P. Olivo 488
11717	STRUMENTAZIONE ELETTRONICA DI MISURA (05)	A. Menchetti 283
4146	STRUMENTAZIONE INDUSTRIALE (07) (09)	C. Saccani 239
11718	STRUTTURE DI FONDAZIONE (sem.) (02) (11)	R. Poluzzi 171
9046	STRUTTURE SPECIALI (sem.) (02)	M. Majowiecki 173
11173	STUDI DI FABBRICAZIONE (02) (05) (07) (09)	G. Tani 240
11350	TECNICA DEI LAVORI IDRAULICI (02)	S. Artina 173
11719	TECNICA DEI LAVORI STRADALI, FERROVIARI E AE- ROPORTUALI	A. Bucchi 175
1019	TECNICA DEI SONDAGGI (02) (05) (11)	G. Brighenti 403
7433	TECNICA DEL CONTROLLO AMBIENTALE (07) (11)	A. Cocchi 364
5705	TECNICA DELLA PROGETTAZIONE IDRAULICA (02)	S. Artina 171
11174	TECNICA DELLA SICUREZZA AMBIENTALE (sem.) (11)	G. Spadoni 405
4153	TECNICA DELLE ALTE TENSIONI (05)	G. Mazzanti 284
1026	TECNICA DELLE COSTRUZIONI (02)	C. Ceccoli 176
1026	TECNICA DELLE COSTRUZIONI (04)	P.P. Diotallevi 176
9047	TECNICA DELLE COSTRUZIONI (11)	F. Zarri 407
3480	TECNICA DELLE COSTRUZIONI II (02)	M. Merli 177
1031	TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI (02) (05) (06) (07) (09)	A. Orlandi 178
1034	TECNICA URBANISTICA I (02, 11)	G. Ronzani 181
1182	TECNICA URBANISTICA I (04)	C. Monti 180
9235	TECNICA URBANISTICA II (04, A-K) (07)	A. Corlaita 183
9235	TECNICA URBANISTICA II (04, L-Z)	G. Crocioni 183
7950	TECNICHE DI ANALISI URBANA E TERRITORIALE (04)	P. Secondini 184
1043	TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLI- CATA (civ.)	V. Bonora 112
1044	TECNOLOGIA DEI MATERIALI NUCLEARI (10)	P. Vestrucci 519
1037	TECNOLOGIA MECCANICA (09)	F. Soavi 242
9269	TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO (05)	G. Marro 490
5574	TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO (06) (08)	A. Tonielli 490
11194	TECNOLOGIE E APPLICAZIONI NUCLEARI (10)	F.G. Cesari 517
11150	TECNOLOGIE ELETTRICHE (05)	G.C. Montanari 285
2121	TECNOLOGIE GENERALI DEI MATERIALI (07) (09)	D. Veschi 241
4115	TEORIA DEI SISTEMI (informaz.)	R. Guidorzi 491
11241	TEORIA DELLO SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI (01)	M. Nocentini 318
11177	TEORIA E TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE (02) (09)	G. Praitoni 186
11178	TERMINALI E IMPIANTI DI TRASPORTO (02)	G. Foresti 187
7951	TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA (01)	G.C. Sarti 319
1059	TERMOTECNICA DEL REATTORE (09) (10)	E. Lorenzini 521
1061	TOPOGRAFIA (02)	V. Achilli 189

		<i>pag.</i>
1061	TOPOGRAFIA (04)	G. Lombardini 189
6804	TOPOGRAFIA (11)	F. Radicioni 408
11180	TOPOGRAFIA II (02)	M. Unguendoli 190
10720	TRASMISSIONE NUMERICA (06)	L. Calandrino 493
11181	TRASPORTO DI PARTICELLE E DI RADIAZIONE (10)	R. Scardovelli 506
8081	TURBOMACCHINE (09)	R. Bettocchi 244
11182	VALORIZZAZIONE DELLE MATERIE PRIME (07) (09) (11)	F. Ciancabilla 409

Nota sui numeri di codice (nuovo ordinamento)

- 21(01) — Ingegneria Chimica
- 21(02) — Ingegneria Civile
- 21(03) — Ingegneria delle Telecomunicazioni
- 21(04) — Ingegneria Edile
- 21(05) — Ingegneria Elettrica
- 21(06) — Ingegneria Elettronica
- 21(07) — Ingegneria Gestionale con sede a Bologna
- 21(08) — Ingegneria Informatica
- 21(09) — Ingegneria Meccanica
- 21(10) — Ingegneria Nucleare
- 21(11) — Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio
- 21(18) — Ingegneria Gestionale con sede a Reggio Emilia

3) EQUIVALENZE FRA INSEGNAMENTI DEL NUOVO E DEL VECCHIO ORDINAMENTO

Vecchio ordinamento

Disegno
Disegno I (esclusi Civili)
Calcolo numerico e programmazione
Geometria

Nuovo ordinamento

1362 Disegno (Civili)
9758 Disegno tecnico industriale
9730 Fondamenti di informatica
9757 Geometria ed algebra

INGEGNERIA CHIMICA

5801	Analisi dei sistemi dell'Ingegneria chimica	9941	Analisi di sicurezza nell'industria di processo
2030	Costruzione di apparecchiature chim.	1384	Costruzione di macchine
115	Chimica e tecnologia dei prodotti ceramici	10405	Scienza e tecnologia dei prodotti ceramici
9052	Impianti chimici III	10404	Impianti biochimici
6529	Tecnologia chimica del disinquinamento	10402	Principi di ingegneria chimica ambientale
7939	Analisi e simulazione dei processi chimici	6417	Principi di ingegneria chimica I

INGEGNERIA CIVILE

5565	Analisi strutturale con l'elaboratore elettronico	11162	Analisi computazionale delle strutture
6461	Calcolo numerico e programmazione	9939	Calcolo numerico e programmazione numerica
85	Caratteri distributivi degli edifici	10006	Caratteri distributivi e costruttivi degli edifici
5797	Complementi di costruzione di strade, ferrovie, ed aeroporti	5603	Costruzioni di strade, ferrovie, ed aeroporti II
2816	Complementi di scienza delle costruzioni	2144	Scienza delle costruzioni II
2010	Complementi di tecnica delle costruzioni	3480	Tecnica delle costruzioni II
2015	Controlli idraulici e pneumatici	10204	Misure e controlli idraulici
5690	Costruzioni per l'industria	10006	Caratteri distributivi e costruttivi degli edifici
6805	Complementi di idrologia (sem.)	11167	Idrologia tecnica II (sem.)

- | | |
|--|--|
| 1956 Complementi di tecnica ed economia dei trasporti | 11178 Terminali ed impianti di trasporto |
| 9431 Complementi di topografia | 11180 Topografia II |
| 2014 Costruzioni marittime e fluviali | 2424 Costruzioni marittime |
| 4053 Costruzioni metalliche | 1222 Costruzioni in acciaio |
| 4131 Difesa e conservazione del suolo | 11172 Protezione idraulica del territorio |
| 447 Fondamenti di economia ed estimo | 8325 Istituzioni di economia (sem.) + 2429 Estimo (sem.) (ex 6621 Economia ed estimo civile) |
| 5691 Impianti idraulici | 518 Impianti speciali idraulici |
| 3751 Ingegneria sanitaria | 11139 Ingegneria sanitaria ambientale |
| 522 Impianti tecnici civili | 11708 Impianti tecnici |
| 4136 Ingegneria sismica (sem.) | 11704 Costruzioni in zona sismica |
| 661 Litologia e geologia | 464 Geologia |
| 496 Idrologia e idrografia | 4688 Idrologia tecnica |
| 2013 Misure e modelli idraulici | 11712 Modellistica idraulica |
| 5567 Pianificazione delle risorse idriche | 1724 Gestione delle risorse idriche (sem.) |
| 5568 Processi industriali applicati all'edilizia | 11353 Progettazione per l'edilizia industrializzata |
| 5569 Programmazione dell'assetto e dello sviluppo del territorio | 9235 Tecnica urbanistica II |
| 2008 Tecnica delle fondazioni (sem.) | 11718 Strutture di fondazione (sem.) |
| 5705 Tecnica della progettazione idraulica | 11350 Tecnica dei lavori idraulici |
| 2011 Tecnica della circolazione | 11177 Teoria e tecnica della circolazione |
| 5572 Tecnica ed organizzazione dei cantieri | 11170 Organizzazione del cantiere |
| 5571 Tecniche di analisi territoriale | 7950 Tecniche di analisi urbana e territoriale |
| 5692 Teoria dei sistemi e del controllo | 6181 Analisi dei sistemi |
| 5751 Trazione elettrica e termica | 6776 Sistemi di trazione |
| 2016 Trazione e propulsione | 10422 Progettazione di sistemi di trasporto |

INGEGNERIA EDILE

- | | |
|--|--|
| 5564 Acustica applicata ed illuminotecnica | 7434 Acustica applicata |
| 85 Caratteri distributivi degli edifici | 10006 Caratteri costruttivi e distributivi degli edifici |
| 2009 Complementi di tecnica urbanistica | 11713 Pianificazione e gestione delle aree metropolitane |
| 5690 Costruzioni per l'industria | 10006 Caratteri costruttivi e distributivi degli edifici |
| 522 Impianti tecnici civili | 11708 Impianti tecnici |
| 5568 Processi industriali applicati all'edilizia | 11353 Progettazione per l'edilizia industrializzata |
| 8078 Progettazione urbanistica | 1139 Composizione urbanistica |

- | | |
|--|--|
| 5569 Programmazione dell'assetto e dello sviluppo del territorio | 9235 Tecnica urbanistica II |
| 5572 Tecnica ed organizzazione dei cantieri | 11170 Organizzazione del cantiere |
| 5571 Tecniche di analisi territoriale | 7950 Tecniche di analisi urbana e territoriale |
| 1034 Tecnica urbanistica | 1182 Tecnica urbanistica I |

INGEGNERIA ELETTRICA

- | | |
|---|---|
| 2237 Applicazioni industriali dell'elettrotecnica | 10409 Sistemi elettronici di potenza negli impianti elettrici |
| 81 Calcolo delle macchine elettriche | 11141 Metodologie di progettazione di macchine elettriche |
| 86 Centrali elettriche | 11135 Impianti di produzione dell'energia elettrica |
| 5693 Chimica fisica dei materiali elettrici | 7549 Scienza e tecnologia dei materiali elettrici |
| 2468 Complementi di elettrotecnica | 10388 Progettazione automatica per l'ingegneria elettrica |
| 4118 Complementi di macchine elettriche | 10386 Modellistica dei sistemi elettromeccanici |
| 205 Costruzioni elettromeccaniche | 10382 Azionamenti elettrici |
| 5694 Economia dell'ingegneria | 5694 Economia applicata all'ingegneria |
| 9041 Elementi di fisica e di ingegneria dei plasmi | 10008 Magnetofluidodinamica applicata |
| 2777 Elettrotecnica I | 7948 Principi di ingegneria elettrica |
| 2777 Elettrotecnica I | Principi di ingegneria elettrica I |
| 279 Elettrotecnica II | 11715 Principi di ingegneria elettrica II |
| 5695 Esercizio delle reti elettriche di energia | 11148 Sistemi elettrici per l'energia |
| 5696 Materiali speciali per l'elettrotecnica | 1140 Materiali per l'ingegneria elettrica |
| 5697 Misure e regolazione degli impianti elettrici | 11142 Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici |
| 10387 Pianificazione ed esercizio dei sistemi elettrici per l'energia | 11148 Sistemi elettrici per l'energia |
| 9269 Tecnologie dei sistemi di controllo | 10411 Automazione industriale |
| 1046 Tecnologie elettriche | 10410 Ingegneria dei materiali elettrici |
| 9267 Tecnologie elettriche speciali | 11150 Tecnologie elettriche (n.o.) |
| 5751 Trazione elettrica e termica | 6776 Sistemi di trazione |
| 2033 Teoria dei circuiti | 11715 Principi di ingegneria elettrica II |

SETTORE DELL'INFORMAZIONE

Vecchio ordinamento	Nuovo ordinamento
3569 Bioautomatica	11133 Bioingegneria III
7671 Bioautomatica (III anno)	7940 Bioingegneria I
9602 Biomeccanica e biomacchine	10412 Bioingegneria II
3716 Calcolatori elettronici	10384 Calcolatori elettronici II
5698 Campi elettromagnetici e circuiti I	7941 Campi elettromagnetici
5699 Campi elettromagnetici e circuiti	10406 Elaborazione ottica dei segnali
6465 Chimica fisica	7942 Chimica fisica dei materiali solidi
9241 Complementi di macchine elettriche	10386 Modellistica dei sistemi elettromeccanici
189 Complementi di matematiche	6372 Analisi matematica III
4122 Complementi di misure elettriche	10413 Sensori e trasduttori
4179 Comunicazioni elettriche I	192 Comunicazioni elettriche
5700 Comunicazioni elettriche II	10390 Reti di telecomunicazioni
6297 Elementi di informatica	7945 Fondamenti di informatica I
2034 Elettronica quantistica	8862 Elettronica dello stato solido
5573 Gestione dell'informazione	10394 Sistemi informativi I
4138 Linguaggi di programmazione	10408 Linguaggi e traduttori
2632 Meccanica delle macchine e macchine	8073 Meccanica applicata alle macchine
5701 Metodi di ottimizzazione	10381 Algoritmi di ottimizzazione
2020 Organizzazione della produzione	10416 Org. della produzione e dei sistemi logistici
6937 Pianificazione degli impianti meccanici	10420 Impianti industriali
9240 Programmazione dei calcolatori elettronici	7946 Fondamenti di informatica II
877 Radiotecnica	10393 Sistemi di telecomunicazione
3980 Sistemi per l'elaborazione dell'informazione	10383 Calcolatori elettronici I
9239 Sistemi per l'elaborazione dell'inf. (avanzato)	10392 Sistemi di elaborazione
2044 Strumentazione elettronica	10407 Strumentazione e misure elettroniche

INGEGNERIA MECCANICA

3781 Disegno II	3726 Disegno di macchine
6799 Idraulica	4294 Meccanica dei fluidi
4022 Macchine	4022 Macchine I
8076 Complementi di impianti meccanici	4766 Impianti speciali
6472 Complementi di meccanica applicata	10415 Meccanica dei robot
5798 Costruzione di macchine automatiche	10414 Costruzione di macchine automatiche e robot

6541 Impianti tecnici industriali	10421 Servizi generali di impianto
9044 Macchine e impianti elettrici	10382 Azionamenti elettrici
9612 Meccanica applicata alle macchine (avanzato)	4710 Meccanica delle vibrazioni
2020 Organizzazione della produzione	10416 Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici
6937 Pianificazione degli impianti mecca- nici	10420 Impianti industriali
5799 Progettazione assistita di strutture meccaniche	11164 Costruzione di macchine II
2224 Tecnologia dei materiali	2121 Tecnologie generali dei materiali

INGEGNERIA NUCLEARE

196 Controlli automatici	10425 Elettronica applicata + Controlli au- tomatici I e II
9430 Calcolo termomeccanico dei compo- nenti nucleari	11351 Progetti e costruzioni nucleari
2826 Combustibili nucleari	10385 Localizzazione dei sistemi energetici
5804 Problemi matematici dei reattori nu- cleari	5804 Metodi matematici per i reattori nu- cleari
6470 Strumentazione e regolazione degli impianti nucleari	11194 Tecnologie e applicazioni nucleari

INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

9050 Complementi di arte mineraria	516 Impianti minerari
4135 Idrogeologia applicata	7947 Meccanica dei fluidi nel sottosuolo
690 Meccanica dei giacimenti di idrocar- buri	11138 Ingegneria dei giacimenti di idrocar- buri
805 Preparazione dei minerali	11182 Valorizzazione delle materie prime
4137 Legislazione mineraria	2084 Diritto minerario
5567 Pianificazione delle risorse idriche	1724 Gestione delle risorse idriche

ORDINE DEGLI STUDI ANNO ACCADEMICO 1996-1997

1) CALENDARIO LEZIONI ANNO ACCADEMICO 1996/1997

a) Insegnamenti a svolgimento intensivo

Gli Insegnamenti vengono impartiti in due cicli di lezioni:

I ciclo: Insegnamenti I anno: 23 settembre - 20 dicembre

Insegnamenti II anno: 30 settembre - 11 gennaio 1997

Insegnamenti anni successivi: 7 ottobre - 18 gennaio 1997

(vacanze natalizie: 22 dicembre - 5 gennaio 1997)

II ciclo: 3 marzo-7 giugno 1997

(vacanze pasquali: 27 marzo - 2 aprile 1997)

b) Insegnamenti a svolgimento estensivo

Insegnamenti I anno: 7 ottobre - 19 aprile 1997

Insegnamenti anni successivi: 21 ottobre - 1 febbraio 1997

3 marzo - 3 giugno 1997

(le vacanze natalizie e pasquali sono le stesse dei Corsi intensivi)

2) CALENDARIO ESAMI DI PROFITTO

sessione invernale A.A. '95-'96

7 gennaio 1997 - 31 marzo 1997

anticipo sessione estiva A.A. '96-'97

7 gennaio 1997 - 31 marzo 1997

sessione estiva A.A. '96-'97

21 aprile 1997 - 31 luglio 1997

sessione autunnale A.A. '96-'97

25 agosto 1997 - 8 novembre 1997

sessione invernale A.A. '96-'97

7 gennaio 1998 - 30 marzo 1998

PROLUNGAMENTO DELLE SESSIONI PER STUDENTI SENZA OBBLIGHI DI FREQUENZA

(ovvero, per gli studenti iscritti in qualità di fuori Corso per l'A.A. '96/'97)

I^a sessione suppletiva

1 aprile - 19 aprile 1997

II^a sessione suppletiva

10 novembre - 13 dicembre 1997

3) CALENDARIO ESAMI DI LAUREA

Anno accademico 1995/1996:

sessione estiva: 19 giugno 1996 e 17 luglio 1996

sessione autunnale: 30 ottobre 1996 e 4 dicembre 1996

sessione invernale: 12 gennaio 1997 e 19 marzo 1997

Anno accademico 1996/1997:

sessione estiva: 12 giugno 1997 e 16 luglio 1997

sessione autunnale: 25 ottobre 1997 e 10 dicembre 1997

sessione invernale: 11 febbraio 1998 e 18 marzo 1998.

N.B. Le domande di ammissione all'esame di Laurea dovranno essere presentate entro i termini fissati dall'Ateneo (15/9; 15/1, 15/5) fermo restando l'obbligo di presentare la restante documentazione almeno venti giorni prima della data fissata per l'esame di Laurea.

4) CORSI DI LAUREA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA - CODICE 2101					
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO	
I	1352 9758	Analisi matematica I Disegno tecnico industriale	1368 1360 9757	Chimica Fisica I Geometria e algebra	
II	1355 148 1373	Analisi matematica II Chimica organica Fisica II	11703 11707 9730 1380	Chimica applicata (sem.) Elementi introduttivi di Ingegneria chimica (sem.) Fondamenti di informatica Meccanica razionale	
III	6797 6801 7951	Elettrotecnica Scienza delle costruzioni Termodinamica dell'ingegneria chimica	9268 663 6417	Economia ed organizzazione aziendale (*) Macchine Principi di ingegneria chimica I	
(*) Sostituibile dall'Insegnamento integrato 11716 <i>Sistemi di controllo di gestione + Sistemi organizzativi</i> obbligatoriamente per chi inserisce nel proprio Piano di studi l'Insegnamento 1677 <i>Gestione aziendale</i> nell'Orientamento gestionale					
IV	503 4641 2235	Impianti chimici I Principi di ingegneria chimica II Scienza dei materiali	1384 11241	Costruzione di macchine Teoria dello sviluppo dei processi chimici	
<i>1 Insegnamento di Orientamento</i>					
V	137 502 8545	Chimica industriale Impianti chimici II Dinamica e controllo dei processi chimici	9941	Analisi di sicurezza nell'industria di processo	
<i>2 Insegnamenti di Orientamento</i>					
Orientamenti:					
1) AMBIENTE E SICUREZZA					
	11137 7947	Ingegneria chimica ambientale (V) Meccanica dei fluidi nel sottosuolo (sem.) (V)	10402 4135	Principi di ingegneria chimica ambientale (IV) Idrogeologia applicata (sem.) (V)	
8702 Pianificazione territoriale (estensivo) (V)					
2) BIOTECNOLOGIE					
		Processi biologici industriali (V) (*)	8127 10404	Biochimica industriale (IV) Impianti biochimici (V)	
(*) Mutuato da « <i>Tecnologie chimico agrarie</i> » della Facoltà di Chimica industriale					
3) GESTIONALE					
	1677	Gestione aziendale (V) (*) Gestione dell'innovazione e dei progetti (V)	10269 10402 11147	Logistica industriale (IV) Principi di ingegneria chimica ambientale (IV) Sistemi di controllo di gestione + Sistemi organizzativi (int.) (**)	
(*) Per questo Insegnamento è richiesta la sostituzione di 9268 <i>Economia e Organizzazione aziendale</i> con l'unità integrata 11716 <i>Sistemi di controllo di gestione + Sistemi organizzativi</i>					
(**) In sostituzione di 9286 <i>Economia ed organizzazione aziendale</i> , obbligatoriamente per chi intende seguire 1677 <i>Gestione aziendale</i> dell'Orientamento gestionale; Insegnamento da frequentare al III anno					

(segue)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA - CODICE 2101				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
4) MATERIALI				
	10019 3727	Materiali polimerici (V) Metallurgia (V)	5802 10405	Proprietà termodinamiche e di trasporto (IV) Scienza e tecnol. dei materiali ceramici (V)
5) PROCESSI				
	11137	Ingegneria chimica ambientale (V) Tecnologia del petrolio e petrolchimica (V) (**)	5802	Proprietà termodinam. e di trasporto (IV) Cinetica chimica applicata (V) (**)
(*) Mutuato da <i>Petrolchimica e tecnologie dei prodotti petroliferi</i> della Facoltà di Chimica industriale				
(**) Mutuato dalla Facoltà di Chimica industriale come <i>Chimica e tecnologia della catalisi</i>				

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE - CODICE 2102						
Anno di corso	Insegnamenti a svolgimento estensivo		Insegnamenti a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I			1349 1362	Analisi matematica I Disegno	1357 1366 9757	Chimica Fisica I Geometria e algebra
II	1353 1378 1043 1370 9939	Analisi matematica II Meccanica razionale Tecnologia dei materiali e chimica applicata Fisica II Calcolo numerico e programmazione numerica (**)	8325	Istituzioni di economia (sem.)	9730 5692	Fondamenti di informatica (*) Analisi dei sistemi (***)
(*) Sostituibile a domanda con 9939 <i>Calcolo numerico e programmazione numerica</i> , vedi **, o con 6181 <i>Analisi dei sistemi</i> , vedi ***. Ci si avvale di questa possibilità dichiarando contestualmente l'Indirizzo che si intende seguire. (**) In sostituzione di 9730 <i>Fondamenti di informatica</i> dichiarando, all'atto dell'iscrizione, di seguire l'Indirizzo STRUTTURE o l'indirizzo IDRAULICA. (***) In sostituzione di 9730 <i>Fondamenti di informatica</i> dichiarando, all'atto dell'iscrizione, di seguire l'Indirizzo TRASPORTI.						
III	890 1034 1061	Scienza delle costruzioni Tecnica urbanistica Topografia	275 430 490	Elettrotecnica (sem.) Fisica tecnica (sem.) Idraulica	464	Geologia (sem.)
IV	51 10203 1026	Architettura tecnica I Geotecnica Tecnica delle costruzioni	663 1031 2429	Macchine (sem.) Tecnica ed economia dei trasporti Estimo (sem.)		
INDIRIZZO STRUTTURE						
					2144	Scienza delle costruzioni II
			Orientamenti 1, 2, 3, 8			
			6200	Dinamica delle strutture		
			Orientamenti 4, 5			
3656	Disegno II					
					11180	Topografia II
			Orientamenti 6, 7			
			Orientamenti 9, 10, 11, 12			
			204	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti		
INDIRIZZO IDRAULICA						
206	Costruzioni idrauliche		4688	Idrologia tecnica		
INDIRIZZO TRASPORTI						
			204	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti	11177	Teoria e tecnica della circolazione

(segue)

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE - CODICE 2102					
	Insegnamenti a svolgimento estensivo		Insegnamenti a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
V				INDIRIZZO STRUTTURE		
	206	Costruzioni idrauliche				
	3480	Tecnica delle costruzioni II				
	11170	Organizzazione del cantiere				
				Orientamento 1		
	11162	Analisi computazionale delle strutture	204	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti		
	11704	Costruzioni in zona sismica				
				Orientamento 2		
	11704	Costruzioni in zona sismica	204	Costruzioni di strade, ferrovie ed aeroporti	9046	Strutture speciali (sem.)
			1222	Costruzioni in acciaio (sem.)		
				Orientamento 3		
	11162	Analisi computazionale delle strutture	4053	Costruzioni metalliche (sem.)	9046	Strutture speciali (sem.)
			204	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti		
				Orientamento 4		
	50	Architettura e composizione architettonica	204	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti		
	10006	Caratteri distributivi e costruttivi degli edifici				
				Orientamento 5		
	50	Architettura e composizione architettonica	204	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti		
	522	Impianti tecnici				
				Orientamento 6		
	8079	Progetti per la ristrutturazione e il risanamento edilizio	204	Costruzione di strade ferrovie ed aeroporti	11718	Strutture di fondazione (sem.)
			3971	Sperimentazione dei materiali e delle strutture (sem.)		
				Orientamento 7		
	11705	Costruzioni in zona sismica + Ingegneria del territorio (<i>Insegnamento integrato</i>)	204	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti		
			1656	Fotogrammetria		
				Orientamento 8		
	11704	Costruzioni in zona sismica	204	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti	11718	Strutture di fondazione (sem.)
					9046	Strutture speciali (sem.)
				Orientamento 9		
	198	Costruzione di ponti	3971	Sperimentazione dei materiali e delle strutture (sem.)	11718	Strutture di fondazione (sem.)
					4125	Consolidamento dei terreni

(segue)

Anno di corso		CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE - CODICE 2102					
		Insegnamenti a svolgimento estensivo		Insegnamenti a svolgimento intensivo			
		N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
	198	Costruzione di ponti	1222	Orientamento 10 Costruzioni in acciaio (sem.)	11718	Strutture di fondazione (sem.)	
			3971	Sperimentazione dei materiali e delle strutture (sem.)	9046	Strutture speciali (sem.)	
	11162	Analisi computazionale delle strutture	1222	Orientamento 11 Costruzioni in acciaio (sem.)	9046	Strutture speciali (sem.)	
	198	Costruzione di ponti					
	11162	Analisi computazionale delle strutture	02	Orientamento 12 Aerodinamica	11718 9046	Strutture di fondazione Strutture speciali (sem.)	
				INDIRIZZO IDRAULICA			
	518	Impianti speciali idraulici	204	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti			
	11350	Tecnica dei lavori idraulici					
	2424	Costruzioni marittime	1172	Orientamento 1 Protezione idraulica del territorio			
	3480	Tecnica delle costruzioni II					
	11708	Impianti tecnici	11204	Orientamento 2 Misure e controlli idraulici	279 667	Elettrotecnica II (sem.) Macchine II (sem.)	
	11708	Impianti tecnici		Orientamento 3	279 667 2013	Elettrotecnica II (sem.) Macchine II (sem.) Modellistica idraulica	
				Orientamento 4			
			11167	Idrologia tecnica II (sem.)	1724	Gestione delle risorse idriche (sem.)	
			1656	Fotogrammetria			
			11172	Protezione idraulica del territorio			
	11139	Ingegneria sanitaria-ambientale	11167	Orientamento 5 Idrologia tecnica II (sem.)	1724	Gestione delle risorse idriche (sem.)	
			11172	Protezione idraulica del territorio			
				Orientamento 6			
			02	Aerodinamica	11712	Modellistica idraulica	
			10204	Misure e controlli idraulici			
	206	Costruzioni idrauliche	11709	INDIRIZZO TRASPORTI Infrastrutture viarie	5603	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti II	
			11701	Progettazione di sistemi di trasporto			
			4679	Orientamento 1 Pianificazione dei trasporti	11708	Terminali e impianti di trasporto	

(segue)

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE - CODICE 2102					
	Insegnamenti a svolgimento estensivo		Insegnamenti a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD. II CICLO	
11706	Diritto dell'assetto territoriale		Orientamento 2			
			4679 Pianificazione dei trasporti			
			Orientamento 3			
				667	Macchine II (sem.)	
				279	Elettrotecnica II (sem.)	
				6776	Sistemi di trazione	
			Orientamento 4			
			11719	Tecnica dei lavori stradali, ferroviari ed aeroportuali	4125	Consolidamento dei terreni
198	Costruzione di ponti		Orientamento 5			
			11719	Tecnica dei lavori stradali, ferroviari ed aeroportuali	11180	Topografia II
			Orientamento 6			
			11719	Tecnica dei lavori stradali, ferroviari ed aeroportuali	11178	Terminali e impianti di trasporto
198	Costruzione di ponti		Orientamento 7			
			Orientamento 8			
		1656	Fotogrammetria	11180	Topografia II	

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI - CODICE 2103

Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I	1352 7945	Analisi matematica I Fondamenti di informatica I	1361 9757 1369	Chimica Geometria e algebra Fisica I
II	1356 1372 7946	Analisi matematica II Fisica II Fondamenti di informatica II	275 6798 381	Elettrotecnica Fisica tecnica Meccanica razionale
III	6372 196 5579	Analisi matematica III Controlli automatici Reti logiche	7941 192 2438	Campi elettromagnetici Comunicazioni elettriche Elettronica applicata I
IV	10383 2439 10393	Calcolatori elettronici I Elettronica applicata II Sistemi di telecomunicazione	1386 10389 10390	Misure elettriche Propagazione Reti di telecomunicazioni
V	251 10406 2191	Economia ed organizzazione aziendale Elaborazione ottica dei segnali Microonde		
		<i>1 o 2 o 3 Insegnamenti a scelta tra:</i>		
			1144	Progetto di circuiti a microonde
			0720	Trasmissione numerica
			1147	Sistemi di commutazione
		<i>nessuno o 1 o 2 Insegnamenti a scelta tra:</i>		
	8862	Elettronica dello stato solido	10384	Calcolatori elettronici II
	884	Ricerca operativa	5702	Microelettronica
	10413	Sensori e trasduttori	10394	Sistemi informativi I
	10407	Strumentazione e misure elettroniche	11145	Reti di calcolatori
	10907	Elettronica dei sistemi digitali	10381	Algoritmi di ottimizzazione
		Elettronica delle telecomunicazioni		Analisi numerica
	2037	Elettronica industriale		

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - CODICE 2104				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I	1349 1362 2736	Analisi matematica I Disegno Storia dell'architettura	1357 1366 9757	Chimica Fisica I Geometria ed algebra
Laboratorio didattico per «Disegno» e «Storia dell'architettura»				
II	1353 1370 3656	Analisi matematica II (estensivo) Fisica II (estensivo) Disegno II	9370 1378 5570	Fondamenti di informatica <i>oppure, in alternativa:</i> Calcolo numerico e programmazione numerica Meccanica razionale Storia dell'architettura e dell'urbanistica
Laboratorio didattico per «Disegno II» e «Storia dell'architettura e dell'urbanistica»				
III	890 430 490 1182	Scienza delle costruzioni (estensivo) Fisica tecnica Idraulica Tecnica urbanistica I (A,B,C) e (D,E,F)	 2429	Composizione e progettazione urbana (A,B,C) Teoria e tecniche della progettazione architettonica (D,E,F) Estimo
Laboratorio didattico per «Tecnica urbanistica I», «Composizione e progettazione urbana», «Teoria e tecniche della progettazione architettonica» e/o per seminari interdisciplinari				
ANNO DI CORSO NON ATTIVATO - ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA DA DEFINIRE				
IV		Architettura e composizione architettonica I Architettura tecnica I Geotecnica Tecnica delle costruzioni Tecnica urbanistica II (A,B,C) Tecniche di analisi urbane e territoriali (D,E,F) Topografia (A,D) Tecnologia dei materiali e chimica applicata (B,E) Impianti tecnici <i>oppure</i> Tecnica del controllo ambientale (F) Pianificazione e gestione delle aree metropolitane (C)		
Laboratorio didattico per «Architettura tecnica» e altri integrati <i>Gli Insegnamenti non abbinati a notazione alfabetica fra parentesi sono obbligatori; gli altri sono di Orientamento</i>				
ANNO DI CORSO NON ATTIVATO - ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA DA DEFINIRE				
V		Architettura e composizione architettonica II Architettura tecnica II (D,E,F) Caratteri costruttivi e distributivi degli edifici (A,B,C) Organizzazione del cantiere Progetti per la ristrutturazione e il risanamento edilizio Tecniche della rappresentazione (A) Ingegneria del territorio (B,D) Progettazione degli elementi costruttivi <i>oppure</i> Recupero e conservazione degli edifici (B) Progettazione architettonica (C) Acustica applicata <i>oppure</i> Impianti elettrici (F) un Insegnamento da Scienza e tecnica delle costruzioni (E)		
Laboratorio didattico per «Composizione architettonica» e/o altri integrati <i>Gli Insegnamenti non abbinati a notazione alfabetica fra parentesi sono obbligatori; gli altri sono di Orientamento</i>				

(segue)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - CODICE 2104

Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
VECCHIO ORDINAMENTO (valido nell'A.A. 1996-1997 per gli anni IV e V)				
IV ANNO				
	50	Architettura e composizione architettonica		
	2114	Architettura tecnica		
	2007	Geotecnica		
	1026	Tecnica delle costruzioni		
	9235	Tecnica urbanistica II (equivalente a tutti gli effetti a «Programmazione dell'assetto e dello sviluppo del territorio»)		
		Insegnamento di Orientamento:		
	7434	— Acustica applicata (Compositivo)		
	522	— Impianti tecnici (Tecnologico) (equivalente a tutti gli effetti a «Impianti tecnici civili»)		
	1061	— Topografia (Territorio)		
V ANNO				
	3780	Architettura e composizione architettonica		
	2214	Architettura tecnica II		
	10007	Progetti per il risanamento e il recupero edilizio		
	1043	Tecnologia dei materiali e chimica applicata		
		Insegnamento di Orientamento:		
	11170	— Organizzazione del cantiere (Tecnologico) <i>oppure, a scelta dello studente</i>		
	5568	— Progettazione per l'edilizia industrializzata (Tecnologico) — Pianificazione e gestione delle aree metropolitane (equivalente a «2009 Complementi di tecnica urbanistica») <i>oppure, a scelta dello studente</i>		
	7950	— Tecniche di analisi urbane e territoriali <i>oppure, a scelta dello studente</i>		
	9043	— Ingegneria del territorio (Compositivo e Territorio)		

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRICA - CODICE 2105				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I	1352 9758	Analisi matematica I Disegno tecnico industriale	1361 1369 9757	Chimica Fisica I Geometria ed algebra
II	1356 1372	Analisi matematica II Fisica II	9730 1381 7949	Fondamenti di informatica Meccanica razionale Scienza e tecnologia dei materiali elettrici
III	6797 11714 8075	Fisica tecnica Principi di ingegneria elettrica I Scienza delle costruzioni	8074 8073 11715	Macchine Meccanica applicata alle macchine Principi di ingegneria elettrica II
IV	5843 666	Economia applicata all'Ingegneria Impianti elettrici Macchine elettriche	196	Controlli automatici Elettronica applicata Misure elettriche
V	10382 10410	Azionamenti elettrici Ingegneria dei materiali elettrici Sistemi elettrici per l'energia (*)		
4 Insegnamenti a scelta				
(*) per il solo A.A. 1996/97 sostituito da «Economia applicata all'energia»				
PIANO DI STUDI SENZA INDIRIZZI				
Insegnamenti a scelta				
		Compatibilità elettromagnetica per l'Ingegneria industriale Elettronica industriale Magnetofluidodinamica applicata Metodologie di progettazione delle macchine elettroniche Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici Sensori e trasduttori		Automazione industriale Impianti di produzione dell'energia elettrica Materiali per l'Ingegneria elettrica Modellistica dei sistemi elettromeccanici Sistemi elettronici di potenza negli impianti elettrici Tecnica delle alte tensioni Tecnologie elettriche (n.o.)
A titolo puramente orientativo il CCdL ha raggruppato Insegnamenti fra loro affini nei seguenti ORIENTAMENTI:				
		1) SISTEMI PER L'ENERGIA		Impianti di produzione della energia elettrica Sistemi elettronici di potenza negli impianti elettrici Tecnica delle alte tensioni Tecnologie elettriche
		2) MACCHINE E AZIONAMENTI		
	2037 11141	Elettronica industriale Metodologie di progettazione delle macchine elettriche Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici	10386	Modellistica dei sistemi elettromeccanici
		3) AUTOMAZIONE INDUSTRIALE		
	2037	Elettronica industriale Sensori e trasduttori	10411	Automazione industriale Sistemi elettronici di potenza negli impianti elettrici

(segue)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRICA - CODICE 2105				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
		4) NUOVE TECNOLOGIE PER L'ENERGIA Compatibilità elettromagnetica per l'Ingegneria industriale Magnetofluidodinamica applicata		Impianti di produzione dell'energia elettrica Tecnologie elettriche
		Lo studente può seguire un ORIENTAMENTO INTERDISCIPLINARE nel campo dei TRASPORTI, così formulato:		
		Tecnica ed economia dei trasporti		Sistemi elettronici di potenza negli impianti elettrici Sistemi di trazione Teoria e tecnica della circolazione
		oppure, un ORIENTAMENTO GESTIONALE, per il quale si consigliano i seguenti quattro Insegnamenti:		
				Economia e organizzazione aziendale Gestione dell'energia Logistica industriale Politica economica
		All'atto dell'iscrizione al V anno lo studente sceglierà quattro Insegnamenti fra quelli della lista sopra riportata, oppure sceglierà l'Orientamento «Trasporti» o l'Orientamento «Gestionale» come indicati. Qualora lo studente intendesse introdurre fra i quattro Insegnamenti a scelta uno o più Insegnamenti di tali Orientamenti o anche altri Insegnamenti impartiti dalla Facoltà, dovrà presentare domanda ai sensi della legge 910. La domanda sarà approvata o meno dal CCdL su proposta dell'apposita Commissione che l'avrà preventivamente esaminata. I membri di tale Commissione sono a disposizione degli studenti per chiarimenti e consigli.		
		PIANO DI STUDI CON INDIRIZZI		
		1) ENERGIA 11142 Misure a collaudo di macchine e impianti elettrici	11150	Tecnologie elettriche Tecnica delle alte tensioni
		un Insegnamento a scelta		
		2) AUTOMAZIONE INDUSTRIALE 2037 Elettronica industriale	10411	Automazione industriale Sistemi elettronici di potenza negli impianti elettrici
		un Insegnamento a scelta fra i seguenti		
		Compatibilità elettromagnetica per l'Ingegneria industriale Magnetofluidodinamica applicata Metodologie di progettazione delle macchine elettriche Sensori e trasduttori Tecnica ed economia dei trasporti		Economia e organizzazione aziendale Gestione dell'energia Impianti di produzione della energia elettrica Logistica industriale Materiali per l'energia elettrica Modellistica dei sistemi elettromeccanici Politica economica Sistemi di trazione Tecnologie elettriche
		oppure uno degli Insegnamenti caratterizzanti l'altro Indirizzo		
		Nel caso di trasferimenti dal CdL in Ingegneria Elettronica (v.o.) l'Insegnamento «Metodi e osservazioni e misure» è convalidato per quello di «Scienza e tecnologia dei materiali elettrici»; gli Insegnamenti di «Meccanica applicata alle macchine e macchine» e «Teoria dei sistemi» sono convalidati per gli Insegnamenti di «Macchine» e di «Meccanica applicata alle macchine».		
		Nel caso di trasferimento dai CdL del settore dell'Informazione, l'Insegnamento di «Fondamenti di informatica II» è convalidato per «Disegno tecnico industriale».		
		Per quanto riguarda i trasferimenti da altre Sedi restano valide le regole precedenti.		

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - CODICE 2106				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I	1352 7945	Analisi matematica I Fondamenti di informatica I	1361 1369 9757	Chimica Fisica I Geometria ed algebra
II	1356 1372 7946	Analisi matematica II Fisica II Fondamenti di informatica II	275 6798 1381	Elettrotecnica Fisica tecnica Meccanica razionale
III	6372 7681 5579	Analisi matematica III Controlli automatici Reti logiche	192 2438	Comunicazioni elettriche Elettronica applicata I
IV	10383 2439	Calcolatori elettronici I Elettronica applicata II	1386	Misure elettriche
V	251	Economia e organizzazione aziendale		
1. Piani di studio con scelta di ORIENTAMENTO				
III			7941	Campi elettromagnetici
IV	10393	Sistemi di telecomunicazione	10384 5702	Calcolatori elettronici II Microelettronica
V		5 Insegnamenti di orientamento		
1a. Orientamento BIOINGEGNERIA				
V	1679	Automazione e organizzazione sanitaria Insegnamento a scelta	7940 11134 4152	Bioingegneria I Elaborazione di dati e segnali biomedici Strumentazione biomedica
1b. Orientamento CALCOLATORI ELETTRONICI				
V	10907 10408 11145	Elettronica dei sistemi digitali Insegnamento a scelta tra: Linguaggi e traduttori Reti di calcolatori	7158 10394	Intelligenza artificiale Sistemi informativi I Insegnamento a scelta
1c. Orientamento COMUNICAZIONI ELETTRICHE				
V	10907 10406	Elettronica dei sistemi digitali Elaborazione ottica dei segnali	10389 10390	Propagazione Reti di telecomunicazioni Insegnamento a scelta
1d. Orientamento CONTROLLI AUTOMATICI				
V	2037 5574	Elettronica industriale Tecnologie dei sistemi di controllo	4126 11146	Controllo di processi Robotica industriale Insegnamento a scelta
1e. Orientamento GESTIONALE				
V	2037 884	Elettronica industriale Ricerca operativa	10381 10394	Algoritmi di ottimizzazione Sistemi informativi I Insegnamento a scelta

(segue)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - CODICE 2106				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
If. Orientamento PROGETTAZIONE ELETTRONICA				
V	10907 2037	Elettronica dei sistemi digitali Elettronica industriale	11132 10407	Architettura dei sistemi integrati Strumentazione e misure elettroniche Insegnamento a scelta
Ig. Orientamento STRUMENTAZIONE ELETTRONICA				
V	10907 10413	Elettronica dei sistemi digitali Sensori e trasduttori	11131 10407	Affidabilità e diagnostica di componenti e circuiti elettronici Strumentazione e misure elettroniche Insegnamento a scelta
2. Piani di studio con scelta di INDIRIZZO				
2a. Indirizzo BIOMEDICA				
III			7940	Bioingegneria I
IV	10412	Bioingegneria II	7941 4152	Campi elettromagnetici Strumentazione biomedica
V	1679 11133	Automazione e organizzazione sanitaria Bioingegneria III	11134 10390	Elaborazione di dati e segnali biomedici Reti di telecomunicazioni Insegnamento a scelta
3a. Indirizzo MICROELETTRONICA				
III			7941	Campi elettromagnetici
IV	8862	Elettronica dello stato solido	5702 7941 10384 7942	Microelettronica Campi elettromagnetici* Insegnamento a scelta tra**: Calcolatori elettronici II Chimica fisica dei materiali solidi
(*) Solo per gli studenti che si iscrivono al IV anno di Corso nell'A.A. 1996/1997 senza avere acquisito la firma di frequenza al III anno.				
(**) Solo per gli studenti che si iscrivono al IV anno di Corso nell'A.A. 1996/1997 senza avere acquisito la firma di frequenza per «Campi elettromagnetici» al III anno.				
V	10907 2037	Elettronica dei sistemi digitali Elettronica industriale	10390 11131 11132 10407	Reti di telecomunicazione Due Insegnamenti a scelta tra: Affidabilità e diagnostica di componenti e circuiti elettronici Architettura dei sistemi integrati Strumentazione e misure elettroniche Insegnamento a scelta
INSEGNAMENTI A SCELTA				
	1679 10412 11133 3695 10406 10907	Automazione ed organizzazione sanitaria Bioingegneria II Bioingegneria III Controlli automatici II Elaborazione ottica dei segnali Elettronica dei sistemi digitali	11131 10381 11132 10411 7940	Affidabilità e diagnostica di componenti e circuiti elettronici Algoritmi di ottimizzazione Architettura dei sistemi integrati Automazione industriale Bioingegneria I

(segue)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - CODICE 2106				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
	8862	Elettronica dello stato solido	10384	Calcolatori elettronici II
	2037	Elettronica industriale	7942	Chimica fisica dei materiali solidi
	10420	Impianti industriali	4126	Controllo dei processi
	10408	Linguaggi e traduttori	11134	Elaborazione di dati e segnali biomedici
	10008	Magnetofluidodinamica applicata	7158	Intelligenza artificiale
	2191	Microonde	8073	Meccanica applicata alle macchine
	1145	Reti di calcolatori	5702	Microelettronica
	884	Ricerca operativa	10386	Modellistica dei sistemi elettromeccanici
	10413	Sensori e trasduttori	10416	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici
	10393	Sistemi di telecomunicazione		
	1031	Tecnica ed economia dei trasporti	11144	Progetto di circuiti a microonde
	5574	Tecnologie dei sistemi di controllo	10389	Propagazione
			10390	Reti di telecomunicazioni
			11146	Robotica industriale
			11147	Sistemi di commutazione
			10392	Sistemi di elaborazione
			10394	Sistemi informativi I
			11149	Sistemi informativi II
			4152	Strumentazione biomedica
			11177	Teoria e tecnica della circolazione
			10720	Trasmissione numerica

Note:

1) Il Corso «Economia e organizzazione aziendale» (251) è sostituibile con il Corso «Economia applicata all'ingegneria» (6183).

2) Per l'indirizzo Microelettronica il Corso «Reti di telecomunicazioni» (10390) è sostituibile con il Corso «Sistemi di telecomunicazione» (10393).

3) Il Corso «Elettronica dei sistemi digitali» sostituisce a tutti gli effetti il Corso «Elettronica applicata III» degli anni accademici precedenti al 1995/1996.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE - CODICE 2107				
sede di Bologna				
per l'A.A. 1995/1996 si prevede l'attivazione dei soli I, III, IV e V anno di Corso				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I	1359 9730	Analisi matematica I Fondamenti di informatica	1359 1367 9757	Chimica Fisica I Geometria e algebra
II (*)	1354 256 1371	Analisi matematica II Economia politica (**) Fisica II	6794 1379	Elettrotecnica (**) Meccanica razionale
(*) non attivato nell'A.A. '96/'97.				
(**) Insegnamento da collocare al III anno (I ciclo) nel transitorio fino all'attivazione del II anno.				
III	196 256 6794 794 11354	Controlli automatici Economia politica (**) Elettrotecnica (**) Fisica tecnica (sem.) Scienza delle costruzioni (sem.)	10420 687 884 11716	Impianti industriali Meccanica applicata alle macchine Ricerca operativa Sistemi di controllo di gestione + Sistemi organizzativi (***)
(**) Insegnamento da collocare al III anno (I ciclo) nel transitorio fino alla attivazione del II anno.				
(***) Insegnamento integrato, previsto a regime nel I ciclo III anno.				
IV	192 201 4521 4313	Comunicazioni elettriche Costruzione di macchine (sem.) Economia e gestione della innovazione Macchine (sem.)	11165 9679 11173	Gestione dell'energia Sistemi informativi I Studi di fabbricazione
V	1677 10391 9941	Gestione aziendale Sicurezza e analisi di rischio (*) <i>oppure</i> Analisi di sicurezza nell'industria di processo (*) Insegnamento a scelta Insegnamento a scelta	10269	Logistica industriale Insegnamento a scelta Insegnamento a scelta
(*) due annualità in alternativa fra loro, a scelta dello studente				

(segue)

Lo studente deve completare il proprio curriculum con discipline tratte dai seguenti elenchi di Insegnamenti di Orientamento, di cui almeno tre appartenenti ad uno stesso.

Scelta di Insegnamenti diversi, purché coerenti con il profilo dell'Ingegnere gestionale, potranno essere approvate nell'ambito dell'applicazione della Legge n. 910 che consente la presentazione di Piani di studio individuali.

In sede transitoria gli Insegnamenti riconosciuti a scelta all'atto del trasferimento si considerano appartenenti all'uno o all'altro degli Orientamenti proposti.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE - CODICE 2107				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
INSEGNAMENTI A SCELTA:				
ORIENTAMENTO INDUSTRIALE-PRODUTTIVO				
	5843 2235 2121 11182	Impianti elettrici (1) Scienza dei materiali Tecnologie generali dei materiali Valorizzazione delle materie prime	10351 10411 4126 10416 10421 4146	Affidabilità e controllo della qualità Algoritmi di ottimizzazione Automazione industriale Controllo dei processi Organizzazione della produzione Servizi generali di impianto Strumentazione industriale
INSEGNAMENTI NON ATTIVATI NELL'A.A. 1996/1997				
		Energetica elettrica (2) Gestione degli impianti industriali Principi di Ingegneria elettrica (2)		
(1) già attivato; verrà inserito nell'Orientamento «Gestione industriale dell'energia» non attivato nell'A.A. '96/'97.				
(2) proposto nell'ambito dell'Orientamento «Gestione industriale dell'energia» non attivato nell'A.A. '96/'97.				
ORIENTAMENTO SERVIZI				
	4679 1031 9295 6463	Pianificazione dei trasporti Tecnica ed economia dei trasporti Tecnica urbanistica II (estensivo) Istituzioni di diritto pubblico e privato (sem.) (2)	2429 10402 10390 11149 7433	Elettronica applicata I (V) (sem.) Elettronica applicata II (V) (sem.) Estimo (sem.) Finanza aziendale Principi di ingegneria chimica ambientale Politica economica Reti di telecomunicazioni Sistemi informativi II Tecnica del controllo ambientale (3)
INSEGNAMENTI NON ATTIVATI NELL'A.A. 1996/1997				
		Metodi e modelli per il supporto delle decisioni		
(1) già attivato; verrà inserito nell'Orientamento «Gestione industriale dell'energia» non attivato nell'A.A. '96/'97.				
(2) mutuato ai soli fini didattici dalla I parte dell'Insegnamento annuale di «Diritto dell'assetto territoriale» impartito nel Corso di laurea in Ingegneria civile.				

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE - CODICE 2118

sede di Reggio Emilia

c/o Reggio Città Studi SpA

via Kennedy 57 - 42100 Reggio Emilia

tel. 0522/383232 - fax 0522/304217

per l'A.A. 1996/1997 si prevede l'attivazione dei soli I, II, III e IV anno di Corso

Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I	1350 1358 9730	Analisi matematica I Chimica Fondamenti di informatica	1367 9757	Fisica I Geometria e algebra
II	1354 1371	Analisi matematica II Fisica II	256 6794 1379	Economia politica Elettrotecnica Meccanica razionale
III	430 687 11716	Fisica tecnica (sem.) Meccanica applicata alle macchine Sistemi di controllo di gestione + Sistemi organizzativi (integrato)	196 10420 884 11354	Controlli automatici Impianti industriali Ricerca operativa Scienza delle costruzioni (sem.)
IV	270 9679 11173	Elettronica applicata Sistemi informativi Studi di fabbricazione	201 4521 11165 4313	Costruzione di macchine (sem.) Finanza aziendale Gestione dell'energia (sem.) Macchine
V (*)	9941 1677	Analisi di sicurezza nell'industria di processo (sem.) + Sicurezza e analisi di rischio (sem.) (integrato (1)) Gestione aziendale 1 Insegnamento a scelta	10269	Logistica industriale 3 Insegnamenti a scelta

(*) Non attivato nell'A.A. 1996/1997

(1) Due semestralità oppure due annualità, in alternativa e a scelta dello studente

--	--	--	--	--

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA INFORMATICA - CODICE 2108				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
INSEGNAMENTI COMUNI A TUTTI I PIANI DI STUDIO				
I	1352 7945	Analisi matematica I Fondamenti di informatica I	1361 1369 9757	Chimica Fisica I Geometria ed algebra
II	1356 1372 7946	Analisi matematica II Fisica II Fondamenti di informatica II	8082 6798 1381	Elettrotecnica Fisica tecnica Meccanica razionale
III	6372 5579 4115	Analisi matematica III Reti logiche Teoria dei sistemi	192 3694 2438	Comunicazioni elettriche Controlli automatici I Elettronica applicata I
IV	10383 2439 884	Calcolatori elettronici I Elettronica applicata II Ricerca operativa	1386	Misure elettriche
V	251	Economia ed organizzazione aziendale		
PIANO DI STUDIO CON INDIRIZZO AUTOMATICA E SISTEMI DI AUTOMAZIONE INDUSTRIALE				
IV			4126 8073	Controllo dei processi Meccanica applicata alle macchine
V	5574 3695	Tecnologie dei sistemi di controllo Controlli automatici II		Insegnamento a scelta (1) Insegnamento a scelta (1) Insegnamento a scelta (1)
(1) Almeno uno fra i seguenti:				
V	2037	Elettronica industriale	10411 11146	Automazione industriale Robotica industriale Identificazione dei modelli e analisi dei dati (*)
(*) <i>Insegnamento non ancora attivato</i>				
Altri insegnamenti a scelta				
	10413 11145	Sensori e trasduttori Reti di calcolatori	10381 10384 7158 10386 10416	Algoritmi di ottimizzazione Calcolatori elettronici II Intelligenza artificiale Modellistica dei sistemi elettromeccanici Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici
	Oppure: qualunque altro Insegnamento incluso nei Piani di studio del Settore dell'Ingegneria dell'Informazione			
PIANO DI STUDI CON INDIRIZZO SISTEMI ED APPLICAZIONI INFORMATICI				
IV			10394 10384	Sistemi informativi I Calcolatori elettronici II
V		Insegnamento a scelta (2) Insegnamento a scelta (2)	8073	Meccanica applicata alle macchine Insegnamento a scelta (2) Insegnamento a scelta (2)
(2) Almeno tre fra i seguenti				

(segue)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA INFORMATICA - CODICE 2108				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
	10408 11145	Linguaggi e traduttori Reti di calcolatori	7158 10392 11149	Ingegneria del software Meccanica applicata alle macchine Intelligenza artificiale Sistemi di elaborazione Sistemi informativi II
Altri				
	4314 1677 5574	Elettronica dei sistemi digitali Gestione aziendale Tecnologie dei sistemi di controllo	10381 10416 10390	Algoritmi di ottimizzazione Architettura dei sistemi integrati Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici Reti di telecomunicazioni
Oppure: qualunque altro insegnamento incluso nei piani di studio del Settore dell'Ingegneria dell'informazione				
ALCUNI RAGGRUPPAMENTI CONSIGLIATI PER GLI INSEGNAMENTI A SCELTA				
1) Piano di studi con orientamento <i>Ingegneria del software</i>				
V	10408	Linguaggi e traduttori	10831 7158 11149	Algoritmi di ottimizzazione Intelligenza artificiale Sistemi informativi II
2) Piano di studi con orientamento <i>Impianti di elaborazione</i>				
V	10408 11145	Linguaggi e traduttori Reti di calcolatori	10390 10392	Reti di telecomunicazioni Reti di elaborazione
Il Corso di laurea prevede anche l'Orientamento «Gestionale»				
PIANO DI STUDI CON ORIENTAMENTO GESTIONALE				
IV			10394 10381	Sistemi informativi I Algoritmi di ottimizzazione
V		Insegnamento a scelta (3) Insegnamento a scelta (3)	11149	Sistemi informativi II Insegnamento a scelta (3) Insegnamento a scelta (3)
		(3) Almeno due fra i seguenti:		
	10401	Linguaggi e traduttori	8073 10416 7158	Meccanica applicata alle macchine Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici Intelligenza artificiale
		(3) Altri:		
	1677 5574	Gestione aziendale Tecnologie dei sistemi di controllo	10411 10384	Automazione industriale Calcolatori elettronici II
Oppure qualunque altro Insegnamento incluso nei Piani di studio del Settore dell'Ingegneria dell'Informazione.				

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA - CODICE 2109				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I	1350 9758	Analisi matematica I Disegno tecnico industriale	1358 1367 9757	Chimica Fisica I Geometria ed algebra
II	1354 1371	Analisi matematica II Fisica II	9730 1379	Fondamenti di informatica Meccanica razionale
III	6794 6796 6801	Elettrotecnica Fisica tecnica Scienza delle costruzioni	687 4294 1037	Meccanica applicata alle macchine Meccanica dei fluidi (**) Tecnologia meccanica
IV	196 670 1140	Controlli automatici Macchine utensili Misure meccaniche e termiche	201 9268 2078	Costruzione di macchine Economia e organizzazione aziendale Macchine I
<i>un Insegnamento a scelta (*)</i>				
V	517	Impianti meccanici		
<i>sei Insegnamenti a scelta (*)</i>				
(*) Il numero complessivo di Materie a scelta è diminuito di una unità per chi ha già eseguito una scelta al II anno prima dell'anno accademico 93/94.				
(**) Può essere anticipato, su domanda, al II anno di Corso; in tal caso, l'iscrizione al IV anno sarà condizionata al superamento dell'esame del suddetto Insegnamento.				
INDIRIZZI				
1) Automazione industriale e robotica				
	667	Macchine II (V)	10352	Azionamenti elettrici (IV)
	10415	Meccanica dei robot (V)	10296	Logistica industriale (V)
	10414	Costruzione di macchine automatiche e robot (V)	4710	Meccanica delle vibrazioni (V)
<i>più una annualità a scelta preferibilmente fra le seguenti</i>				
	3726	Disegno di macchine (IV)	92	Chimica applicata (IV)
	886	Scienza dei metalli (V)	11164	Costruzione di macchine II (V)
			10416	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici (V)
2) Costruzioni				
	3726	Disegno di macchine (IV)	4117	Analisi sperimentale delle tensioni (V)
	667	Macchine II (V)	11164	Costruzione di macchine II (V)
	10414	Costruzione di macchine automatiche e robot (V)	4710	Meccanica delle vibrazioni (V)
<i>più una annualità a scelta preferibilmente fra le seguenti</i>				
	2121	Tecnologie generali dei materiali (IV)	10382	Azionamenti elettrici (IV)
	02	Aerodinamica (V)	92	Chimica applicata (IV)
	10415	Meccanica dei robot		
	11352	Principi e metodologie della progettazione meccanica (V)		
	886	Scienza dei metalli (V)		

(segue)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA - CODICE 2109				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
		3) Energia		
	667	Macchine II (V)	92 4117 10419 10420 8081 11352 10414 4117	Chimica applicata (IV) Analisi sperimentale delle tensioni (V) Dinamica e controllo delle macchine (V) Impianti industriali (V) Turbomacchine (V) un insegnamento fra i tre seguenti Principi e metodol. della progett. mecc. Costruzione di macchine autom. e robot Analisi sperimentale delle tensioni
		<i>più una annualità a scelta preferibilmente fra le seguenti</i>		
	02	Aerodinamica (V)	11168	Interazione fra le macchine e l'ambiente (IV)
	3726	Disegno di macchine (IV)		
	0886	Scienza dei metalli (V)	4766	Impianti speciali (V)
	1059	Termotecnica del reattore (V)	4710	Meccanica delle vibrazioni (V)
	11182	Valorizzazione delle materie prime (V)		Elettronica applicata I (sem.) (V)
	11352	Principi e metodol. della progett. mecc. (V)		Elettronica applicata II (sem.) (V)
		4) Materiali		
	2121	Tecnologie generali dei materiali (IV)	92	Chimica applicata (IV)
	667	Macchine II (V)	4117	Analisi sperimentale delle tensioni (V)
	0886	Scienza dei metalli (V)	11164	Costruzione di macchine II (V)
		<i>più una annualità preferibilmente a scelta fra le seguenti</i>		
	3726	Disegno di macchine (IV)	10382	Azionamenti elettrici (IV)
	11352	Principi e metodol. della progett. mecc. (V)	4766	Impianti speciali (V)
		5) Produzione		
	667	Macchine II (V)	10420	Impianti industriali (V)
	10414	Costruzione di macchine automatiche e robot (V)	10420 4766 10421 4146 11173	2 Materie fra le seguenti 3: Impianti speciali (V) Servizi generali di impianto (V) Strumentazione industriale (V) Studi di fabbricazione (V)
	2121	Tecnologie generali dei materiali (IV) <i>oppure</i> <i>più una annualità preferibilmente a scelta fra le seguenti</i>	92 4766 10269 10416 10421 4146 11173	Chimica applicata (IV) Impianti speciali (V) Logistica industriale (V) Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici (V) Servizi generali di impianto (V) Strumentazione industriale (V) Studi di fabbricazione (V)
	3726	Disegno di macchine (IV)		
	2121	Tecnologie generali dei materiali (IV)		
	886	Scienza dei metalli (V)		
	10415	Meccanica dei robot		
		Orientamento trasporti		
	1031	Tecnica ed economia dei trasporti (IV)	11164	Costruzione di macchine II (V)
	667	Macchine II (V)	4710	Meccanica delle vibrazioni (V)
	10422	Progettazione di sistemi di trasporto (V) <i>più una annualità preferibilmente a scelta fra le seguenti</i>	6776	Sistemi di trazione (V)
	02	Aerodinamica (V)	10382	Azionamenti elettrici (IV)
	3726	Disegno di macchine (IV)	92	Chimica Applicata (IV)
	886	Scienza dei metalli (V)	4117 10269 11177	Analisi sperimentale delle tensioni (V) Logistica industriale (V) Teoria e tecnica della circolazione (V)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE - CODICE 2110				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I	1355 9758	Analisi matematica I Disegno tecnico industriale	1359 1368 9757	Chimica Fisica I Geometria ed algebra
II	1355 1371	Analisi matematica II Fisica II	422 9730 1380	Fisica nucleare Fondamenti di informatica Meccanica razionale
III	8082 6797 6801	Elettrotecnica Fisica tecnica Scienza delle costruzioni	1385 9940	Elettronica applicata I (sem.) Controlli automatici I (sem.) Meccanica applicata alle macchine Metodi matematici per i reattori nucleari
IV	1384 7944	Costruzione di macchine Elementi di fisica dei reattori a fissione e a fusione	9268 4313	Economia ed organizzazione aziendale Macchine
<i>+ due Insegnamenti di Orientamento a scelta</i>				
V	517 1059	Impianti nucleari Termotecnica del reattore	730 11194	Misura delle radiazioni e protezione Tecnologie e applicazioni nucleari
<i>+ tre Insegnamenti di Orientamento a scelta</i>				
ORIENTAMENTI				
1) Impiantistico-costruttivo				
	7942	Chimica fisica dei materiali solidi (IV) Compatibilità elettromagnetica per l'ingegneria industriale (V)	10385	Localizzazione di sistemi energetici I (sem.) (V) Localizzazione dei sistemi energetici II (sem.) (V)
	11352	Principi e metodologie della progettazione meccanica (V)	10382	Azionamenti elettrici (V)
	11351	Progetti e costruzioni nucleari (V)	7972	Energetica e sistemi nucleari (V)
	10391	Sicurezza e analisi di rischio (IV)	1044	Tecnologia dei materiali nucleari (V)
2) Neutronica-plasmi				
	7942	Chimica fisica dei materiali solidi (IV)		Elettronica applicata II (sem.)
	10008	Magnetofluidodinamica applicata (V)		Controlli automatici II (sem.)
	11192	Modelli numerici per i reattori nucleari (V)	11181	Trasporto di particelle e di radiazioni (IV)
			4140	Neutronica applicata (V)
			11193	Reattori nucleari avanzati (V)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO - CODICE 2111				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I	1349 9758	Analisi matematica I Disegno tecnico industriale (1)	1358 1366 9757	Chimica Fisica I Geometria ed algebra
(1) Sostituibile con «1362 Disegno» (estensivo) per gli studenti dell'Indirizzo «PIANIFICAZIONE E GESTIONE TERRITORIALE»				
II	1353 1370 6792 465	Analisi matematica II Fisica II Chimica applicata (sem.) Geologia applicata (1)	9730 1378 464 7943	Fondamenti di informatica Meccanica razionale Geologia (2) Elementi di ecologia (sem.)
(1) Per gli studenti degli Indirizzi «Ambiente» e «Pianificazione e gestione del territorio» (2) Per gli studenti degli Indirizzi «Difesa del suolo», «Georisorse» e «Geotecnologie»				
III	890 490 275 430	Scienza delle costruzioni (estensivo) Idraulica Elettrotecnica (sem.) Fisica tecnica (sem.)	11169 9268	Meccanica applicata alle macchine + Macchine (Insegnamento integrato) Economia ed organizzazione aziendale (1)
<i>I Insegnamento di Indirizzo</i>				
(1) Sostituibile con «Istituzioni di economia ed Estimo» nell'Indirizzo «PIANIFICAZIONE E GESTIONE TERRITORIALE»				
IV	4114	Meccanica delle rocce	6804	Topografia
<i>4 Insegnamenti di Indirizzo</i>				
V	<i>6 Insegnamenti di Indirizzo</i>			
INDIRIZZI				
1. AMBIENTE				
III			279 7433	Elettrotecnica II (sem.) Tecnica del controllo ambientale (sem.)
IV	11139 4688	Ingegneria sanitaria ambientale (estensivo) Idrologia tecnica	10402	Principi di ingegneria chimica ambientale
<i>1 Insegnamento a scelta</i>				
V	11137 9043	Ingegneria chimica ambientale Ingegneria del territorio	11706 11711 10385	Diritto dell'assetto territoriale (sem.) Modellistica e controllo dei sistemi ambientali (sem.) Localizzazione dei sistemi energetici I (sem.)
<i>2 Insegnamenti a scelta</i>				
ORIENTAMENTI				
A) Ingegneria di processo				
	11143 9941	Processi biotecnologici ambientali (V) Analisi di sicurezza nell'industria di processo (V)	10426 11174	Analisi strument. e controllo dei materiali (sem.) (IV) Tecnica della sicurezza ambientale (IV)
	137	Chimica industriale (V)	4135	Idrogeologia applicata (sem.) (IV)

(segue)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO - CODICE 2111				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
B) Ingegneria sanitaria				
	7947	Meccanica dei fluidi nel sottosuolo (sem.) (IV)	4135	Idrogeologia applicata (sem.) (IV)
	2006	Acquedotti e fognature (sem.) (V)	1724	Gestione delle risorse idriche (sem.) (V)
	11710	Ingegneria sanitaria II (V)		
	11182	Valorizzazione delle materie prime (V)		
		Ingegneria sanitaria II (V)		
C) Ingegneria delle materie prime				
	7947	Meccanica dei fluidi nel sottosuolo (sem.) (IV)	4135	Idrogeologia applicata (sem.) (IV)
	11182	Valorizzazione delle materie prime (V)	11702	Cave e recupero ambientale (V)
	137	Chimica industriale (V)	11168	Interazione fra le macchine e l'ambiente (V)
2. DIFESA DEL SUOLO				
III	8702	Pianificazione territoriale (<i>estensivo</i>)	2084	Diritto minerario (sem.)
IV	11139	Ingegneria sanitaria ambientale (<i>estensivo</i>)		
	9074	Tecnica delle costruzioni (<i>estensivo</i>)		
	10203	Geotecnica (<i>estensivo</i>)		
	4688	Idrologia tecnica		
V	206	Costruzioni idrauliche (<i>estensivo</i>)	1019	Tecnica dei sondaggi
	7947	Meccanica dei fluidi nel sottosuolo (sem.)	11706	Diritto dell'assetto territoriale (sem.)
			11711	Modellistica e controllo dei sistemi ambientali
			2 Insegnamenti a scelta fra:	
	4125	Consolidamento dei terreni (V)	11702	Cave e recupero ambientale (V)
	11172	Protezione idraulica del territorio (V)	4135	Idrogeologia applicata (sem.) (V)
	454	Geofisica applicata (V)	1724	Gestione delle risorse idriche (sem.) (IV)
			11174	Tecnica della sicurezza ambientale (sem.) (V)
3. PIANIFICAZIONE E GESTIONE TERRITORIALE				
III	1 Insegnamento a scelta			
IV	1034	Tecnica urbanistica (<i>estensivo</i>)	1724	Gestione delle risorse idriche (sem.)
	9047	Tecnica delle costruzioni (<i>estensivo</i>)		
	11139	Ingegneria sanitaria ambientale (<i>estensivo</i>)		
	11174	Tecnica della sicurezza ambientale (sem.)		
V	8702	Pianificazione territoriale (<i>estensivo</i>)	1019	Tecnica dei sondaggi (*)
	204	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti	2084	Diritto minerario (sem.)
	1031	Tecnica ed economia dei trasporti	11706	Diritto dell'assetto territoriale (sem.)
	(*) Sostituibile con «Cave e recupero ambientale»			
	1 Insegnamento a scelta fra:			
	7950	Tecniche di analisi urbane e territoriali (<i>estensivo</i>) (III)	11168	Interazione fra le macchine e l'ambiente (V)
	1656	Fotogrammetria (V)	11162	Analisi di sicurezza nell'industria di processo (V)
		Ingegneria del territorio (V)		

(segue)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO - CODICE 2111				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
4. GEORISORSE				
III			5725	Mineralogia e petrografia
IV	482 454	Giacimenti minerari Geofisica applicata	54	Arte mineraria
1 Insegnamento a scelta				
V	11182	Valorizzazione delle materie prime	2084 11706 1019 1138	Diritto minerario (sem.) Diritto dell'assetto territoriale (sem.) Tecnica dei sondaggi Ingegneria dei giacimenti di idrocarburi
2 Insegnamenti a scelta				
A) Orientamento Miniere e cave				
	7947 516	Meccanica dei fluidi nel sottosuolo (sem.) (IV) Impianti minerari (V)	4135 11702	Idrogeologia applicata (sem.) (IV) Cave e recupero ambientale (V)
B) Orientamento Idrocarburi e fluidi endogeni				
	7947 816	Meccanica dei fluidi nel sottosuolo (sem.) (IV) Produzione e trasporto degli idrocarburi (V)	4135 731	Idrogeologia applicata (sem.) (IV) Misure e controllo nei giacimenti di idrocarburi (V)
5. GEOTECNOLOGIE				
III			5725	Mineralogia e petrografia
IV	7947 10203 9047	Meccanica dei fluidi nel sottosuolo (sem.) Geotecnica (<i>estensivo</i>) Tecnica delle costruzioni (<i>estensivo</i>)	2084	Diritto minerario (sem.)
1 Insegnamento a scelta				
V	454 9043	Geofisica applicata Ingegneria del territorio	12090 1019	Ingegneria degli scavi Tecnica dei sondaggi
2 Insegnamenti a scelta				
	516 1656 4125 11182 204	Impianti minerari (V) Fotogrammetria (V) Consolidamento dei terreni (<i>estensivo</i>) (V) Valorizzazione delle materie prime (V) Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti (V)	4135 11718 11706 11702	Idrogeologia applicata (sem.) (IV) Strutture di fondazione (sem.) (V) Diritto dell'assetto territoriale (sem.) (IV) Cave e recupero ambientale (V)

5) NOTE ESPLICATIVE SUI CORSI DI LAUREA E SUGLI INDIRIZZI E ORIENTAMENTI

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

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, e solo dei primi tre di essi 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 sei 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 trattate 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 i problemi che hanno come matrice comune il trasferimento di persone e merci, inquadrati secondo due settori di interesse — spaziale e strutturale — e studiati con una duplice finalità, l'organizzazione e la progettazione. I temi

fondamentali riguardano la determinazione della domanda di trasporto, l'organizzazione delle reti e delle aziende, la progettazione funzionale dei sistemi e dei veicoli, lo studio dei sistemi nodali, la progettazione delle grandi infrastrutture, la gestione dei sistemi intesa come utilizzo ottimale delle risorse disponibili, la valutazione degli impatti derivanti dalla presenza e uso del sistema nel territorio.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE

Obiettivi del Corso

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 dinamica 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.

Con l'A.A. 1996-97 sono stati attivati, secondo il nuovo ordine degli studi, i primi tre anni del corso di laurea in Ingegneria Edile; il quarto e il quinto anno seguono il vecchio ordinamento.

Con questo manifesto si attua il nuovo ordinamento pensato anche a livello nazionale per venire incontro alle nuove esigenze professionali.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

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.

I corsi obbligatori coprono i più importanti settori dell'Ingegneria Meccanica e forniscono all'allievo un'ampia preparazione di base; i corsi 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 oramai 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 corsi 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 corso di base sugli azionamenti elettrici, fondamentali nella automazione moderna; un corso di meccanica delle vibrazioni, particolarmente importante per lo studio di problemi funzionali e costruttivi delle moderne macchine ad alta velocità ed infine alcuni corsi 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 corsi 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 corso di Meccanica delle vibrazioni, particolarmente importante per lo studio di problemi funzionali e costruttivi delle moderne macchine ad alta velocità, un corso 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 nei Corsi 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, il corso 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 corsi 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 corsi 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 di Tecnica ed economia dei trasporti, Progettazione dei sistemi di trasporto, Sistemi di trazione (obbligatori), e Teoria e tecnica della circolazione (facoltativo), 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.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA

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 fisi-

ci 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 monocorde, 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 processi, dei materiali 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.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE

Attivazione presso le Sedi di Bologna (1°, 3°, 4°, 5°) e di Reggio Emilia (1°, 2°, 3°, 4°)

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, che verranno specificati in una fase successiva, 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 organizzativi 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 nuove 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.

I CORSI DI LAUREA DEL SETTORE DELL'INGEGNERIA DELLA INFORMAZIONE Nuovo ordinamento

A seguito del riordino a livello nazionale degli studi di Ingegneria, è stato creato il Settore della Informazione, che raggruppa i corsi di laurea dedicati allo sviluppo delle figure professionali che si dovranno occupare delle tecnologie concernenti la acquisizione, la elaborazione e il trasferimento della informazione. Allo scopo sono stati definiti tre corsi di laurea: Ingegneria Elettronica, Ingegneria Informatica e Ingegneria delle Telecomunicazioni. Nel loro complesso essi devono recepire tutti gli indirizzi culturali del precedente corso di laurea unico in Ingegneria Elettronica e predisporre l'ammodernamento e lo sviluppo. Per comprendere dunque questa articolazione è opportuno ricordare cosa storicamente ha significato il termine Ingegneria Elettronica.

Con questo termine si è infatti designato un complesso di discipline che è diventato sempre più vasto ed articolato, la cui origine può riferirsi allo studio delle proprietà e delle applicazioni di speciali strutture (o «dispositivi») il cui modo di funzionare è determinato dalle particolarità dei movimenti degli elettroni nel vuoto o nei corpi solidi. Esempi tipici di queste strutture sono gli oscilloscopi, i cinescopi, le valvole ad alto vuoto dei trasmettitori radio e TV di grande potenza, i circuiti integrati a semiconduttore (o «microcircuiti» ecc.). La applicazione di tali dispositivi si è trovata dapprima nelle tecnologie di telecomunica-

zione, poi in quelle di elaborazione ed acquisizione della informazione: intanto il settore disciplinare si allargava fino a comprendere gli altri aspetti necessari per la progettazione dei «sistemi elettronici» che hanno trasformato la nostra vita di tutti i giorni. Le grandi reti di telecomunicazione di fonia e dati, gli impianti di radiodiffusione, i sistemi di assistenza alla navigazione aerea e marittima, i sistemi di controllo elettronico delle macchine e degli impianti, i calcolatori elettronici, inseriti poi attualmente nella maggior parte delle apparecchiature elettroniche, sono divenuti strumenti indispensabili per la vita di ogni essere umano e per la gestione di tutte le attività organizzate. Pur godendo di una base tecnologica sostanzialmente comune, la progettazione della molteplicità dei sistemi elettronici ha dato origine allo sviluppo di parecchie discipline dai contenuti ora più di tipo tecnologico, ora più metodologico.

Questo sviluppo poderoso di applicazioni ha portato alla formazione di aree quali la Microelettronica, le Telecomunicazioni, l'Informatica, l'Automatica, la Bioingegneria, la Strumentazione, che, per essere convenientemente sviluppate negli studi, richiedono un certo numero di insegnamenti specifici. Per attuare questo era necessario predisporre figure professionali differenziate: sono stati dunque predisposti i corsi di laurea già sopra menzionati, eventualmente articolati in indirizzi al loro interno.

D'altronde la realtà professionale comporta la capacità sia di interagire con specialisti di altri settori, sia di compiere frequenti conversioni di attività: da qui la esistenza di un pacchetto di insegnamenti comuni a tutti i corsi di laurea del settore dell'Ingegneria dell'Informazione, che si aggiungono a quelli già previsti per tutti gli allievi ingegneri. Il loro elenco è riportato in calce a questa introduzione: nelle introduzioni relative ai vari corsi di laurea questi insegnamenti sono ripetuti per fornire un quadro completo del percorso didattico previsto.

Il lettore potrà trovare nel seguito le peculiarità delle varie figure professionali come vengono a delinearsi a seguito della introduzione dei nuovi corsi di laurea: nello scorrerle va comunque sempre tenuta presente la forte esistenza di matrici culturali comuni e la esigenza, già richiamata, di non creare mondi non comunicanti tra loro, al di là della differenziazione che è stata necessaria per consentire adeguati approfondimenti. Questo è evidenziato anche dal fatto che la quasi totalità delle risorse didattiche e delle strutture di supporto, relative ai corsi applicativi del settore della informazione, sono messe a disposizione da un unico Dipartimento, il DEIS (Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica). In particolare esso consente l'accesso ai mezzi di calcolo e ai laboratori destinati alla ricerca ai laureandi che svolgano tesi sperimentali, mentre per le esercitazioni collegate ai vari insegnamenti mette a disposizione le attrezzature di due laboratori multidisciplinari denominati LAB1 e LAB2.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

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'E-

lettronica 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.

INDIRIZZI

Biomedica

L'indirizzo di Bioingegneria 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. Si tratta di un indirizzo fortemente interdisciplinare, sia nei riguardi delle componenti meccanica e chimica della stessa ingegneria, sia per i suoi rapporti con il mondo biologico e medico. I corsi dell'indirizzo hanno carattere prettamente ingegneristico e sono ampiamente collegati con i contenuti dei corsi fondamentali dell'ingegneria elettronica. Vengono dapprima descritti i principi fisici che stanno alla base del funzionamento dei principali sistemi biologici. Il comportamento dinamico di tali sistemi è interpretato poi con l'ausilio di modelli matematici secondo le metodologie della moderna ingegneria dei sistemi. Vengono quindi affrontati i problemi tecnologici connessi al progetto ed all'uso, corretto e sicuro, delle moderne apparecchiature biomediche sia diagnostiche che terapeutiche. Sono infine fornite le conoscenze fondamentali per affrontare i problemi di automazione, informatizzazione e gestione di sistemi altamente integrati come i servizi sanitari.

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 a 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.

Strumentazione

Non è attualmente possibile attivare questo indirizzo a causa dello scarso numero di docenti in quest'area.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA INFORMATICA

Al nuovo corso di laurea in *Ingegneria Informatica* è affidato il duplice compito di recepire, da un lato, tutto il patrimonio culturale e tecnico degli indirizzi di Automazione e di Informatica del precedente corso di laurea in Ingegneria Elettronica e, dall'altro, di ampliarlo e armonizzarlo in modo da definire due figure professionali che vadano il più possibile incontro alle esigenze del mondo del lavoro.

Si tratta di due figure con una larga base comune dato che devono essere in grado di operare nei seguenti settori:

- industria manifatturiera di produzione dei sistemi di base dell'informatica e dell'automazione
- società di ingegneria del software per la progettazione e realizzazione di sistemi informatici dedicati e sistemi integrati per la supervisione ed il controllo
- aziende ed enti pubblici e privati che utilizzano l'informatica come mezzo per fornire servizi, amministrare, gestire, produrre, progettare
- attività produttive fortemente automatizzate che fanno uso di prodotti automatici assai sofisticati e di complessi sistemi di automazione.

Il corso di laurea in Ingegneria Informatica, perciò, 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*. La scelta dell'indirizzo dovrà essere fatta 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 6 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.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI

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; diffusione di programmi radio e TV; elettronica civile; radioassistenza alla navigazione aerea, marittima e al traffico su strada; 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, dei terminali 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 quegli 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 quegli ingegneri che opereranno essenzialmente nel campo della trasmissione.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE

Il Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare è stato istituito, con l'avvio degli insegnamenti del 1° anno del Triennio di Applicazione, nell'a.a. 1961-'62. 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 Neutronica-Plasmi. Solo una delle 10 unità didattiche relative al biennio propedeutico è caratteristica del Corso di Laurea e viene seguita al secondo anno. Le altre 19 vengono svilup-

pate nel triennio di applicazione, nel corso del quale si accentua progressivamente la caratterizzazione specifica del Corso di Laurea.

Orientamento impiantistico-costruttivo

L'orientamento si propone, sulla base delle conoscenze ingegneristiche di base fornite dagli insegnamenti fondamentali dell'ingegneria industriale e da quelli obbligatori e specifici dell'ingegneria nucleare di marcata caratterizzazione ingegneristica (Impianti nucleari, Termotecnica del reattore, Progetti e costruzioni nucleari, Misura delle radiazioni e protezione), di completare la formazione di ingegneri nucleari con solide basi di professionalità non solo nel campo impiantistico costruttivo (con riferimento prevalente all'impianto nucleotermoelettrico trattato a livello dei principali componenti e come sistema complesso integrato), ma anche con riferimento alle più avanzate competenze richieste nel comparto industriale in generale.

Si delineano pertanto, tenuto conto delle diverse e possibili scelte operabili dagli studenti, approfondimenti di competenze in settori specifici quali: i sistemi energetici di produzione con le connesse problematiche e metodologie di analisi inerenti le valutazioni di rischio ed affidabilità nonché quelle di impatto ambientale; le moderne tecniche e le metodologie di progettazione di parti e componenti complessi sia in ambito meccanico che elettrico, unite ai necessari approfondimenti in merito alle tecnologie generali e nucleari a supporto.

La motivazione di fondo dell'orientamento proposto è quella, pertanto, di rispondere alla domanda di ingegneri sia nucleari, ma con elevata qualificazione professionale che li ponga in condizioni di affrontare con successo problematiche complesse ed avanzate anche in un ambito industriale allargato.

Orientamento neutronica-plasmi

L'*orientamento Neutronica-Plasmi* amplia e approfondisce le conoscenze fisiche e fisico-matematiche di base fornite dalle discipline fondamentali (in particolare da quelle di Fisica nucleare, Elementi di fisica dei reattori a fissione ed a fusione, Metodi matematici per i reattori nucleari, Misura delle radiazioni e protezione ecc.) specifiche del corso di laurea. L'obiettivo è di fornire agli allievi le competenze metodologiche e professionali richieste per la progettazione fisica dei reattori a fissione e a fusione, per lo sviluppo di concetti di reattori a maggiore sicurezza intrinseca e passiva e per lo sviluppo delle applicazioni delle tecniche nucleari, delle radiazioni (laser, macchine acceleratrici, ...), dei plasmi e più in generale delle tecnologie avanzate aventi rilevante contenuto fisico alla ricerca, alle scienze applicate (biologiche, geologiche, ambientali, ...) e ai processi industriali. Questa impostazione è intesa a realizzare l'obiettivo generale del Corso di Laurea che è quello di fornire agli allievi una base culturale e professionale ampia e flessibile che li metta in grado di dedicarsi con successo ad attività di ricerca e ad applicazioni tecnologiche avanzate, non solo nel campo nucleare ma in generale nel settore industriale.

L'orientamento Neutronica-Plasmi trova una importante motivazione anche nella carenza in Italia di una laurea o curriculum in Ingegneria Fisica, attivati invece all'interno della comunità europea in paesi di grande tradizione culturale e industriale. Esso 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 di Ingegneria industriale, unito ad un marcato contenuto fisico, fornendo loro strumenti concettuali e metodologie che trovano crescente applicazione in ambito industriale. Risponde inoltre all'esigenza, oggi sempre più sentita nel mondo produttivo, di una formazione altamente flessibile ed interdisciplinare dell'allievo ingegnere.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

Il Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio è stato istituito con l'ultima 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. Più precisamente, nel nuovo Corso di Laurea sono confluiti quelli di Ingegneria Mineraria, Ingegneria Forestale, Ingegneria Civile per la difesa del suolo e la pianificazione territoriale e Ingegneria Idraulica.

Il nuovo 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:

- 1 - Ambiente;
- 2 - Difesa del suolo;
- 3 - Georisorse;
- 4 - Geotecnologie;
- 5 - Pianificazione territoriale.

Comune 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.

L'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: 1) valutare i rischi ambientali conseguenti ad attività produttive o di servizi; 2) controllare o modificare i processi industriali che possono produrre inquinamento; 3) studiare le tecniche e progettare gli impianti per il disinquinamento e il recupero dell'ambiente; 4) progettare gli impianti per il trattamento dei rifiuti solidi, liquidi e gassosi.

L'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: 1) la sistemazione di bacini idrografici; 2) la protezione dei litorali; 3) la prevenzione di frane e scoscendimenti; 4) la protezione da rischio sismico.

L'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 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 sottterraneo, 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.

L'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 sottterraneo, 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.

L'indirizzo «Pianificazione e Gestione territoriale», infine, 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 29, di cui 9 comuni a tutti i Corsi di Laurea in Ingegneria ed i rimanenti caratterizzanti il Corso di Laurea e i cinque indirizzi.

DATI STATISTICI

A) Anno acc. 95-96. Studenti per Corso di laurea, anno di Corso, sesso.

NUOVO ORDINAMENTO

CORSI DI LAUREA	PRIMO		SECONDO		TERZO		QUARTO		QUINTO		FUORI C.		TOTALE	
	MF	F	MF	F	MF	F	MF	F	MF	F	MF	F	MF	F
01 Ingegneria chimica	86	30	90	31	89	19	66	25	72	16	132	37	535	158
02 Ingegneria civile	133	26	160	24	184	26	159	28	121	14	275	42	1032	160
03 Ingegneria delle telecomunicazioni	198	29	151	21	97	16	73	6	70	9	167	16	736	97
04 Ingegneria edile	214	32	236	77	195	53	127	40	101	36	224	67	1097	355
05 Ingegneria elettrica	57	1	79	3	65	2	72	6	66	2	135	4	474	18
06 Ingegneria elettronica	318	36	308	33	303	23	299	30	159	24	446	48	1833	194
07 Ingegneria gestionale					83	22	111	18	132	18	44	10	370	68
08 Ingegneria informatica	214	24	208	23	151	8	125	14	81	10	274	20	1053	99
09 Ingegneria meccanica	339	22	349	9	258	13	296	9	198	13	476	15	1966	81
10 Ingegneria nucleare	18	3	41	10	30	4	14	4	26	5	50	11	179	37
11 Ingegneria per l'ambiente e il terr.	198	71	174	47	158	45	59	25	49	14	105	32	743	234
*12 Ingegneria dell'ambiente e delle ris.	32	10	18	2	20	1					28	5	98	18
*13 Ingegneria meccanica	43		55		32	2					39	4	169	6
*14 Ingegneria aerospaziale	42	2	37	1	30						31	3	140	6
*15 Ingegneria delle telecomunicazioni	27	2	22	1	16						13		78	3
*16 Ingegneria elettronica	29		20		21						6		76	
*17 Ingegneria informatica e automatica	37	2	20	1	24						6		87	3
18 Ingegneria gestionale RE	128	23	116	17	77	11					6		327	51
*20 Ingegneria informatica e automatica	61	2	22	3	4						33	1	120	6
*23 Ingegneria biomedica	20	6											20	6
TOTALI FACOLTÀ	2244	371	2106	303	1837	245	1401	205	1075	161	2490	315	11153	1600

* Diplomi universitari.

B) Anno acc. 95-96. Studenti per Corso di laurea, anno di Corso, sesso.

VECCHIO ORDINAMENTO

CORSI DI LAUREA	PRIMO		SECONDO		TERZO		QUARTO		QUINTO		FUORI C.		TOTALE	
	MF	F	MF	F	MF	F	MF	F	MF	F	MF	F	MF	F
02 Ingegneria meccanica			2		8	1	8	1	336	10	354	11		
03 Ingegneria elettrotecnica					1		1		83	2	85	2		
04 Ingegneria chimica					1	1	4		99	24	104	25		
05 Ingegneria mineraria			3				1	1	48	6	52	7		
06 Ingegneria elettronica			4		6	1	12	1	928	84	950	86		
07 Ingegneria nucleare							2	1	35	4	37	5		
08 Ingegneria civile sezione edile			2		4	1	15		446	63	467	64		
09 Ingegneria civile sezione idraulica							1		43	6	44	6		
10 Ingegneria civile sezione trasporti							2	1	86	9	89	9		
TOTALI FACOLTÀ			11		22	4	45	3	2104	208	2182	215		

C) Anno acc. 94-95. Studenti per Corso di laurea, anno di Corso e sesso.

NUOVO ORDINAMENTO

CORSI DI LAUREA	PRIMO		SECONDO		TERZO		QUARTO		QUINTO		FUORI C.		TOTALE	
	MF	F	MF	F	MF	F	MF	F	MF	F	MF	F	MF	F
01 Ingegneria chimica	102	36	81	18	74	24	77	19	42	11	154	39	530	147
02 Ingegneria civile	164	30	168	26	122	18	108	11	76	12	321	53	959	150
03 Ingegneria delle telecomunicazioni	205	26	93	21	79	3	64	8	58	6	122	11	626	75
04 Ingegneria edile	319	99	190	56	143	43	97	37	47	16	233	53	1029	304
05 Ingegneria elettrica	113	3	54	2	74	8	51	1	50	3	142	5	484	22
06 Ingegneria elettronica	343	42	301	26	270	27	197	34	112	17	549	47	1777	193
07 Ingegneria gestionale					85	21	145	21			29	2	259	44
18 Ingegneria gestionale RE	133	28	74	7							6	2	218	37
08 Ingegneria informatica	263	33	165	15	111	15	86	9	98	7	266	17	989	96
09 Ingegneria meccanica	400	12	266	13	297	9	208	11	138	3	495	22	1804	70
10 Ingegneria nucleare	41	8	39	6	12	1	20	6	22	5	41	11	175	37
11 Ingegneria per l'ambiente e il terr.	199	54	152	54	76	27	61	17	19	6	87	17	594	175
TOTALI FACOLTÀ	2543	384	1756	250	1498	210	1114	174	662	86	2532	283	10105	1387

D) Anno acc. 93-94. Studenti per Corso di laurea, anno di Corso e sesso.

VECCHIO ORDINAMENTO

CORSI DI LAUREA	PRIMO		SECONDO		TERZO		QUARTO		QUINTO		FUORI C.		TOTALE	
	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.
02 Ingegneria meccanica	1		1		11	1	11	1	446	20	470	21		
03 Ingegneria elettrotecnica			1		2		3		117	3	123	3		
04 Ingegneria chimica			1		3		2		141	32	147	32		
05 Ingegneria mineraria			2		2	1	5		56	10	65	11		
06 Ingegneria elettronica			3		5	1	14	1	1317	123	1339	125		
07 Ingegneria nucleare					1		1		50	6	52	6		
08 Ingegneria civile sezione edile					13		25	1	559	87	597	88		
09 Ingegneria civile sezione idraulica							1		63	12	64	12		
10 Ingegneria civile sezione trasporti							5	1	101	10	106	11		
TOTALI FACOLTÀ	1	3	37	3	67	3	2850	303	2963	309				

E) Numeri di laureati per Corso di laurea negli ultimi cinque anni accademici.

Corso di laurea	Anno accademico	90-91	91-92	92-93	93-94 V.O.	93-94 N.O.	94-95
2002 Ing. Meccanica		95	87	109	133	4	100
2003 Ing. Elettrotecnica		28	33	35	30		40
2004 Ing. Chimica		22	45	46	69	13	41
2005 Ing. Mineraria		17	14	22	14		14
2006 Ing. Elettronica		277	266	343	344		342
2007 Ing. Nucleare		21	15	17	19		11
2008 Ing. Civile edile		115	126	114	99		112
2009 Ing. Civile idraulica		10	16	10	20		15
2010 Ing. Civile trasporti		14	17	10	24		16
Ing. Telecomunicazioni						9	
Ing. Informatica						10	
Ing. Elettrica						2	
2101 Ing. Chimica							29
2103 Ing. Telecomunicazioni							17
2104 Ing. Edile							2
2105 Ing. Elettrica							13
2106 Ing. Elettronica							34
2108 Ing. Informatica							38
2109 Ing. Meccanica							18
2110 Ing. Nucleare							4
2111 Ing. Amb. e Terr.							5
	Totale	599	619	706	752	38	

NORMATIVA DI SEGRETERIA

(Facoltà di Ingegneria, Via Saragozza 8 - Bologna)
Responsabile: dott. Antonella Nanni

1. - Immatricolazione studenti italiani

A — Titoli di ammissione

Ai sensi dell'art. 1 della Legge 11/12/1969, n. 910 possono iscriversi a qualsiasi corso di laurea:

a) i diplomati degli Istituti di istruzione secondaria di secondo grado di durata *quinquennale* (ivi compresi i licei linguistici riconosciuti per legge ed i corsi speciali quinquennali previsti dalla legge che autorizza la sperimentazione negli istituti professionali);

b) i diplomati degli istituti magistrali e dei licei artistici che abbiano frequentato, con esito positivo, gli appositi corsi integrativi annuali organizzati in ogni provincia dai Provveditorati agli Studi.

— Termini

dal 20 luglio al 15 ottobre

— Ubicazione ed orari degli sportelli (tutti i giorni escluso sabato)

— Segreterie di Facoltà: Via Saragozza, 8 - dalle ore 9.30 alle 11.30

— Sportello bancario: Via Zanolini, 3 - dalle ore 9 alle 12

— Azienda comunale per il diritto allo studio: Via Belle Arti, 42 - dalle ore 9 alle 12 (martedì e giovedì dalle ore 15 alle 17).

— Modalità

a) presentarsi con 2 marche da bollo allo sportello bancario di Via Zanolini, 3; pagare la prima rata di tasse (ovvero la quota ridotta per chi chiede l'esenzione dalle tasse scolastiche o l'assegno di studio previa esibizione della ricevuta rilasciata dall'Azienda comunale per il diritto allo studio o la parziale esenzione per chi abbia conseguito la maturità con il punteggio di 60/60);

b) compilare accuratamente i moduli rilasciati dallo sportello bancario applicando le marche da bollo negli appositi spazi;

c) consegnare allo sportello della segreteria:

— i moduli di cui sopra, la ricevuta della domanda di assegno di studio o la domanda di esenzione per i 60/60;

— diploma originale di maturità ovvero per i diplomati anteriormente al 90 certificato sostitutivo a tutti gli effetti del diploma e dichiarazione rilasciata dall'Istituto attestante l'impossibilità di rilasciare il diploma originale; i diplomati nel 93 potranno presentare un certificato che dovrà essere sostituito nel corso dell'anno, e comunque prima di sostenere esami, con il titolo originale. I certificati rilasciati da Istituti non statali fuori dalla Provincia di Bologna devono essere legalizzati dai competenti Provveditorati agli Studi;

— tre fotografie formato tessera, una delle quali deve essere autenticata su carta bollata dalla autorità competente (segretario comunale, notaio, etc.) con l'indicazione di tutti i dati anagrafici (nome, cognome, data e luogo di nascita, cittadinanza e residenza).

N.B. Si prega di controllare che tutti i dati anagrafici (ed in particolare il nome o i nomi propri) che figurano sul diploma corrispondano esattamente a quelli riportati nell'autentica della fotografia. In caso contrario presentare alla Segreteria un estratto dell'atto di nascita ed una dichiarazione attestante che non esistono omonimi rilasciate dal Comune di nascita.

B — Immatricolazione per il conseguimento di un secondo titolo accademico

I laureati o Diplomatici presso le scuole dirette a fini speciali che intendano iscriversi per il conseguimento di altra laurea o diploma sono tenuti a seguire le medesime modalità indicate al punto 1. tenendo conto che non possono usufruire di alcuna forma di esenzione dalle tasse e che sono tenuti a presentare anche un certificato di laurea o diploma, contenente l'indicazione delle votazioni riportate nei singoli esami di profitto, in bollo da L. 4.000 (i laureati o diplomatici presso l'Università di Bologna potranno omettere la presentazione di tale documento in quanto verrà richiesto d'ufficio).

N.B. I soli laureati o diplomatici dell'Università degli Studi di Bologna e dell'I.S.E.F. di Bologna che conseguono il titolo nella sessione autunnale potranno immatricolarsi anche dopo il termine del 15/10 ma comunque improrogabilmente entro il 31 dicembre.

C — Iscrizioni ad anni di corso successivi al primo

— **Termini**

dal 20 luglio al 15 ottobre iscrizioni in corso e condizionate
dal 20 luglio al 31 dicembre iscrizioni fuori corso

— **Documenti da presentare alla Segreteria**

a) domanda di iscrizione redatta sugli appositi stampati (in distribuzione nell'atrio delle Segreterie) debitamente bollati negli appositi spazi (domanda iscrizione - domanda ammissione esami)

b) libretto di iscrizione

c) attestazione del versamento della prima rata di tasse

oppure ricevuta rilasciata dall'Azienda Comunale per il diritto allo studio per coloro che abbiano presentato domanda di esonero dalle tasse scolastiche e/o di assegno di studio universitario

oppure domanda di parziale esenzione (non collegata alle condizioni economiche) per coloro che essendo in pari con gli esami degli anni precedenti abbiano conseguito o stiano conseguendo una media non inferiore a 28/30 negli esami previsti per l'anno accademico precedente

oppure domanda di semiesonero per i figli di cittadini italiani stabilmente residenti all'estero per motivi di lavoro e per i cittadini stranieri borsisti del Governo italiano.

2. - Ammissione studenti stranieri e cittadini italiani in possesso di titoli di studio conseguiti all'estero

— **Disposizioni generali**

I cittadini stranieri che intendono ottenere l'immatricolazione presso una Università italiana devono presentare la seguente documentazione alle Rappresentanze diplomatiche

o consolari italiane del Paese ove risiedono od ove hanno conseguito il titolo entro il termine perentorio del *15 Aprile* (prorogato al 30 giugno per stranieri extra-comunitari dimoranti in Italia):

- a) domanda di preiscrizione alla Università prescelta (indicando almeno quattro sedi in ordine preferenziale) contenente l'esatta indicazione del corso di laurea o diploma che intendono intraprendere
- b) documento di identità personale, tradotto, legalizzato e autenticato con applicata la propria fotografia
- c) 2 fotografie formato tessera uguali a quella applicata al documento di identità
- d) originale e copia del titolo di studio utile per l'ammissione all'Università
- e) dettagliato curriculum degli studi seguiti
- f) dichiarazione di essere disposti a rientrare nel Paese di residenza alla scadenza del visto rilasciato per motivi di studio.

I cittadini italiani in possesso di titoli di studio conseguiti all'estero, validi per l'ammissione alle Università italiane, sono tenuti a presentare direttamente all'atto dell'immatricolazione (entro e non oltre il *15 Ottobre*) oltre agli altri documenti prescritti il titolo di studio debitamente tradotto, legalizzato e sul quale sia riportata la dichiarazione del valore ai fini delle immatricolazioni alle Università.

— Norme di ammissione

Essendo stato preventivamente stabilito un determinato contingente di posti per ogni corso di laurea o diploma, per essere ammessi alle Università italiane, gli studenti stranieri dovranno superare una prova di ammissione tendente ad accertare sia la conoscenza linguistica sia la preparazione culturale necessarie per intraprendere gli studi nel corso di laurea richiesto. La Facoltà di Ingegneria ha stabilito un contingente di 40 posti. *La prova di ammissione è fissata per settembre 1996.*

Coloro che non si presentassero alla prova ovvero non la superassero non potranno ottenere l'iscrizione né potranno ripetere la prova stessa se non nell'anno accademico successivo, previa ripresentazione della documentazione sopra citata.

— Studenti che non entrano nel contingente dei posti disponibili e che non devono sostenere la prova di ammissione

Gli studenti appartenenti alle sottoindicate categorie potranno presentare i documenti (se del caso tradotti e legalizzati) *direttamente entro il termine improrogabile del 15 ottobre*:

- a) cittadini stranieri che abbiano frequentato l'intero ciclo di studi secondari all'estero in Scuole pubbliche dove l'insegnamento sia impartito in lingua italiana (se il titolo è valido per l'ammissione alle Università)
- b) studenti che abbiano conseguito il diploma finale presso le Scuole tedesche in Italia, presso il Liceo francese «Chateaubriand» di Roma, presso il Liceo armeno «Moorat Raphael» o il Liceo spagnolo «Cervantes»
- c) studenti in possesso della maturità europea
- d) cittadini stranieri in possesso di titolo finale italiano (maturità o laurea)
- e) cittadini italiani in possesso di titolo di studio conseguito all'estero debitamente perfezionato dalla competente autorità diplomatico-consolare.

Gli studenti appartenenti alle sottoindicate categorie dovranno inoltrare le documentate istanze per il tramite delle competenti rappresentanze diplomatico-consolari italiane all'estero e *pervenire all'Università entro il 15 ottobre.*

a) Cittadini stranieri di nazionalità ma di madre lingua italiana (esempio, cittadini elvetici del Canton Ticino)

b) Cittadini stranieri assegnatari di borse di studio del Governo italiano o di Istituzioni ufficiali italiane che abbiano frequentato almeno per tre mesi un corso di lingua italiana presso l'Università per stranieri di Perugia o presso la Scuola di Lingua e cultura italiana per stranieri di Siena. I borsisti che non ritengano necessaria la frequenza di detti corsi dovranno sostenere la prova di conoscenza della lingua italiana presso l'Università scelta

c) Cittadini stranieri (e italiani) che chiedono il riconoscimento di laurea conseguita all'estero

d) Cittadini stranieri che chiedono l'iscrizione a corsi singoli.

N.B. In alcuni casi, a seconda della documentazione prodotta, è previsto il superamento della prova di conoscenza della lingua italiana o di cultura in sede locale.

3. - Norme generali relative alla carriera scolastica

a) Validità dell'anno ed attestazioni di frequenza

Nessun anno di iscrizione in corso è valido se lo studente non è iscritto ad almeno tre insegnamenti del proprio corso di studi. Le attestazioni di frequenza sono rilasciate d'ufficio.

b) Corsi liberi

A norma dell'art. 6 del Regolamento, lo studente iscritto in corso, oltre alle materie del proprio corso di laurea, può iscriversi — entro il 31 dicembre di ogni anno — a non più di due insegnamenti di altro corso di laurea della stessa Università (tali corsi non vengono conteggiati ai fini della ammissione all'esame di laurea né nella media di laurea).

c) La domanda di ammissione agli *esami di profitto* per l'intero anno accademico è unificata a quella di immatricolazione o di iscrizione. Pertanto, entro il termine fissato per l'iscrizione dovrà essere presentata la predetta domanda che varrà per le tre sessioni d'esame dell'anno accademico.

Lo studente è tenuto a conoscere le norme dell'ordinamento didattico del proprio corso di laurea ed è responsabile dell'annullamento degli esami sostenuti in violazione di tali norme.

In particolare:

- per i corsi sdoppiati (cioè svolti da più docenti) dovrà sostenere l'esame davanti alla Commissione presieduta dal Docente titolare del corso cui lo studente è tenuto ad iscriversi;
- non può ripetere un esame già sostenuto con esito favorevole;
- lo studente riprovato non può ripetere l'esame nella medesima sessione;
- per ogni riprovazione lo studente è tenuto al pagamento della tassa di ripetizione;
- gli esami di profitto non possono essere sostenuti più di due volte nelle sessioni del medesimo anno accademico (ivi compreso l'appello invernale: gennaio-marzo);
- gli esami sostenuti in violazione delle norme che regolano le propedeuticità stabilite dallo Statuto saranno annullati;
- nell'appello invernale d'esami non possono essere sostenuti più di due esami di

profitto (oltre a quello di laurea). Questa limitazione non si applica agli studenti fuori corso da almeno un anno.

d) *Esami di laurea*

Le domande di ammissione agli esami di laurea o diploma devono essere presentate entro i seguenti termini:

- Sessione Estiva 15 maggio
- Sessione Autunnale 15 settembre
- Appello Invernale 15 gennaio

Tali scadenze sono improrogabili in quanto l'ammissione all'esame di laurea richiede il controllo dell'intera carriera scolastica.

Per la documentazione rivolgersi alla Segreteria di Facoltà.

Modalità per essere ammessi a sostenere l'esame di laurea:

— entro i termini sopraindicati dovranno essere presentati in Segreteria

a) domande redatte sugli appositi stampati intese ad ottenere l'ammissione all'esame di laurea, il rilascio del diploma di laurea e la restituzione del diploma di maturità.

b) ricevuta del versamento della soprattassa esame di laurea e di rilascio della pergamena da effettuarsi presso l'Esattoria Universitaria o presso un qualsiasi ufficio postale;

c) ricevuta del versamento della tassa erariale di laurea da pagarsi presso qualsiasi ufficio postale sul c/c/p. n. 1016 intestato all'Ufficio del Registro - Concessioni Governative - Tasse scolastiche - Roma;

d) l'argomento della tesi di laurea, trascritto su apposito modulo e firmato dal Relatore.

N.B. Gli studenti in corso (che si laureano entro le sessioni del quinto anno di corso) possono ottenere le seguenti esenzioni:

1) coloro che fruiscono dell'assegno di studio pagano la sola indennità di pergamena;

2) coloro che aspirano all'esonero per merito dovranno presentare domanda in carta semplice, indirizzata al Magnifico Rettore e vistata dall'Ufficio Assistenza, unitamente alle domande di laurea. Provvisoriamente corrisponderanno la sola indennità di pergamena fino all'accertamento delle condizioni richieste;

3) l'esonero dalla tassa erariale a domanda per coloro che posseggono un reddito non superiore a tre volte i limiti fissati dalla legge n. 41/1986 (finanziaria) e conseguano una votazione di laurea non inferiore a 90/100;

4) coloro che fruiscono dell'esonero dalle tasse e soprattasse di iscrizione ai sensi della legge n. 41/1986 sono altresì esentati dalla soprattassa di laurea.

— almeno 20 giorni prima della data fissata per l'esame di laurea il candidato dovrà presentare in Segreteria:

a) 3 (tre) copie del frontespizio della dissertazione di laurea (riproduzione su foglio bianco della copertina) una delle quali firmata dal Relatore;

b) il libretto di iscrizione completo di tutti gli esami previsti per l'ammissione all'esame di laurea;

c) dichiarazione rilasciata dalla Biblioteca Universitaria (Via Zamboni, 35) attestante che lo studente non ha alcun obbligo nei confronti della stessa;

il giorno dell'esame di laurea il candidato è tenuto a presentare alla Commissione esaminatrice una copia della dissertazione di laurea firmata dal Relatore.

4. - Nuovo ordinamento didattico — Carriera scolastica

La durata degli studi per il conseguimento della Laurea in Ingegneria è di cinque anni.

Potranno ottenere l'iscrizione ai Corsi di Laurea in Ingegneria coloro che siano in possesso di diploma di maturità quinquennale (o quadriennale purché abbiano frequentato, con esito positivo, un corso annuale integrativo), chiunque sia in possesso di altra laurea e, nei limiti e con le modalità previste dalle vigenti disposizioni, a coloro che siano in possesso di valido titolo di studio conseguito all'estero.

Lo studente per ottenere l'iscrizione al:

— secondo anno di corso dovrà avere superato almeno due annualità d'esami del primo anno;

— terzo anno di corso dovrà avere superato almeno tutti gli esami del primo anno;

— quarto anno di corso dovrà avere superato almeno tutti gli esami del primo e del secondo anno;

— quinto anno di corso dovrà avere superato tutti gli esami del primo anno e del secondo anno e gli esami relativi ad almeno sei annualità del terzo e quarto anno;

(gli insegnamenti semestrali valgono mezza annualità).

Lo studente dovrà inoltre superare, entro i primi tre anni di corso, una prova di conoscenza pratica e comprensione della lingua inglese.

Lo studente che non superi il numero minimo d'esami previsto sarà iscritto in qualità di fuori corso.

Gli studenti che abbiano seguito il corso di studi per l'intera sua durata senza avere preso iscrizione e frequentato tutti gli insegnamenti prescritti per l'ammissione all'esame di laurea dovranno iscriversi in qualità di ripetenti per gli insegnamenti mancanti di iscrizione o frequenza.

Per essere ammesso all'esame di laurea lo studente dovrà aver seguito i corsi e superato gli esami relativi ad un minimo di 29 annualità per tutti i Corsi di Laurea.

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

Con l'entrata in vigore del nuovo ordinamento didattico e l'attivazione dei soli primi due o tre anni di corso, considerato che solamente gli studenti già iscritti potranno portare a termine gli studi secondo il preesistente ordinamento, gli studenti in trasferimento da corsi di laurea diversi da quello di destinazione, gli studenti che si immatricolano per il conseguimento di una seconda laurea, gli studenti che chiedono una abbreviazione di corso sulla base di titoli accademici (o assimilabili) italiani o stranieri potranno essere ammessi ad un anno di corso non superiore a quelli attivati secondo il nuovo ordinamento per il corso di laurea scelto.

Gli studenti che chiedono il riconoscimento di titoli accademici conseguiti all'estero e non ottengono il riconoscimento senza obblighi di esami, saranno ammessi ad un anno di corso non superiore a quelli attivati secondo il nuovo ordinamento per il corso di laurea scelto.

Gli studenti iscritti secondo il preesistente ordinamento potranno optare (con domanda) per il nuovo alle condizioni fissate dalle autorità accademiche sulla base delle quali

il curriculum già seguito sarà reso compatibile con quello previsto dal nuovo ordinamento.

Gli studenti iscritti secondo il preesistente ordinamento potranno altresì chiedere (con domanda ai sensi della L. 910/69) di proseguire gli studi optando solamente per l'applicazione delle nuove regole di superamento degli sbarramenti.

Le opzioni non potranno essere revocate.

5. - Trasferimenti ad o da altre Università o Facoltà o Corsi di Laurea

A — *Trasferimenti ad altra Università (congedi)*

Lo studente può trasferirsi ad altra Università nel periodo dal 20 luglio al 31 dicembre.

La domanda di trasferimento, redatta su appositi stampati debitamente bollati e indirizzata al Magnifico Rettore, deve essere accompagnata dal libretto di iscrizione.

Non può ottenere il trasferimento lo studente non in regola col pagamento delle tasse, soprattasse e contributi.

A partire dalla data di presentazione della domanda di trasferimento non è più consentito sostenere alcun esame di profitto.

Gli studenti trasferiti ad altra Università non possono far ritorno all'Università di Bologna prima che sia trascorso un anno solare dalla data del rilascio del foglio di trasferimento.

B — *Trasferimenti da altre Università.*

Premesso che il foglio di congedo, unitamente al titolo di scuola media superiore, viene trasmesso d'ufficio all'Università di Bologna dall'Università dalla quale si trasferisce, lo studente deve provvedere ai seguenti adempimenti amministrativi:

- a) domanda indirizzata al Magnifico Rettore dell'Università di Bologna per la prosecuzione degli studi e la eventuale convalida della precedente carriera scolastica, da presentarsi entro il 31 dicembre, sugli appositi stampati bollati.
- b) fotografia autenticata su carta legale;
- c) scheda statistica debitamente compilata in tutte le sue parti;
- d) ricevuta del versamento delle tasse di conguaglio (da richiedersi in Segreteria), se lo studente è già iscritto presso l'Università di provenienza, o della I rata di tasse di iscrizione in caso diverso;
- e) domanda indirizzata al Consiglio di Facoltà, redatta su apposito modulo.

C — *Passaggi da altra Facoltà o Corso di Laurea presso l'Università di Bologna.*

Coloro che, iscritti ad un corso di laurea o diploma, intendono passare ad altro corso di studi, devono farne domanda al Rettore, su appositi stampati, dal 1° agosto *entro e non oltre il 31 dicembre*.

Alla domanda vanno allegati:

- a) domanda di iscrizione per il nuovo A.A.
- b) quietanza del pagamento delle tasse e contributi dovuti per il corso di studi in cui lo studente si trova iscritto alla data della domanda;
- c) libretto d'iscrizione.

Lo studente, ottenuto il passaggio, deve provvedere, entro lo stesso termine del 31 dicembre, a presentare domanda al Rettore, presso la Segreteria della Facoltà nella quale

ha chiesto di trasferirsi, su appositi stampati.

Per quanto riguarda i documenti da produrre egli sarà dispensato dal presentare quelli già acquisiti agli atti della Segreteria al momento della sua prima iscrizione.

Allo studente trasferito può essere concessa l'iscrizione ad anni successivi al primo del nuovo corso di studi, su parere della Facoltà, in base agli insegnamenti precedentemente seguiti e agli esami superati. Comunque, la durata complessiva degli studi, tenuto conto degli anni già seguiti nel corso di provenienza, non può essere inferiore a quella prescritta per il corso al quale lo studente fa passaggio.

In relazione alla validità dei piani di studio autonomi, predisposti a norma dell'art. 2 della legge 11 dicembre 1969, N. 910, nei casi in cui lo studente chieda ed ottenga ai sensi dell'art. 9 del Regolamento 4 giugno 1938, n. 1269, il trasferimento da una sede universitaria all'altra, poiché titolare del potere di approvazione, modifica o rigetto dei piani di studio autonomi è il Consiglio di Corso di Laurea, la valutazione già espressa circa i piani di studio non può ritenersi vincolante per i corrispettivi organi della sede universitaria della Facoltà dello stesso Ateneo presso la quale lo studente ottenga il trasferimento.

Pertanto, fatti salvi gli insegnamenti per i quali, alla stregua del piano di studio autonomo, lo studente abbia superato i relativi esami, deve intervenire una nuova pronuncia, sul piano stesso, da parte del Consiglio di Corso di Laurea della nuova sede universitaria. Tale pronuncia può, ovviamente, consistere nella conferma o nella modifica del precedente piano in rapporto alla diversa esigenza della Facoltà ricevente.

Pertanto gli studenti provenienti da altre Università, Facoltà o Corsi di laurea dello stesso Ateneo, debbono, prima di essere ammessi agli esami di profitto, attendere le decisioni della competente Facoltà che dovrà deliberare circa il piano di studio che gli studenti suddetti sono tenuti a seguire presso questa Università.

Le domande di piano di studio individuale presentate da studenti in trasferimento saranno accettate sotto la condizione che esso non sia in contrasto con la delibera di ammissione da parte del Consiglio di Corso di Laurea.

D — Corso di laurea in Ingegneria gestionale - Sede di Bologna - Regole di passaggio al Corso di Laurea

Iscrizione al 3° anno

Lo studente deve aver sostenuto tutti gli esami del primo anno del proprio piano di studi o del piano di studi ufficiale del CdL Ing. Gestionale. Valgono poi le seguenti regole:

- *Disegno* (CdL Ing. Civile, Edile, Ambiente e Territorio) è riconosciuto come corso a scelta; se lo studente non ha ancora superato il relativo esame, si consiglia di inserire in sostituzione Fondamenti di informatica (CdL Ing. Gestionale).
- *Disegno tecnico industriale* (CdL Ing. Chimica, Elettrica, Meccanica, Nucleare, Ambiente e Territorio) è riconosciuto come corso a scelta; se lo studente non ha ancora superato il relativo esame, si consiglia di inserire in sostituzione Fondamenti di informatica (CdL Ing. Gestionale).
- *Fondamenti di informatica I* (CdL Ingegneria Elettronica, Informatica, Telecomunicazioni) è riconosciuto equivalente a Fondamenti di informatica.
- *Chimica applicata + Fondamenti introduttivi di ingegneria chimica* (corso integrato CdL Ing. Chimica) è riconosciuto come corso a scelta.
- *Tecnologia dei materiali e chimica applicata* (CdL Ing. Civile) è riconosciuto equiva-

lente a Tecnologie generali dei materiali.

- *Economia ed estimo civile* (CdL Ing. Civile, Edile) è riconosciuto come corso a scelta.
- *Calcolo numerico e programmazione numerica* (CdL Ing. Civile, Edile) è riconosciuto equivalente a Fondamenti di informatica.
- *Fondamenti di informatica II* (CdL Ingegneria Elettronica, Informatica, Telecomunicazioni) è riconosciuto come corso a scelta.
- *Scienza e tecnologia dei materiali elettrici* (CdL Ingegneria Elettrica) è riconosciuto come corso a scelta.
- *Chimica applicata o Scienza dei metalli* (CdL Ingegneria Meccanica) è riconosciuto come corso a scelta.
- *Fisica nucleare* (CdL Ing. Nucleare) è riconosciuto come corso a scelta.
- *Chimica applicata (sem.) + Elementi di ecologia (sem.)* o, in alternativa, *Geologia* (CdL Ing. Ambiente e Territorio) è riconosciuto come corso a scelta.
- *Fisica tecnica* è riconosciuto equivalente a Fisica tecnica (sem.).

Possono comunque essere riconosciuti fino ad un massimo di 2 corsi a scelta derivanti dalla carriera precedente.

Le presenti norme transitorie servono per agevolare il riconoscimento della carriera comune percorsa dagli studenti, che si iscrivono al CdL Ing. Gestionale; esse saranno sottoposte a revisione anno per anno.

E — Alcune norme particolari riguardanti i piani di studio degli studenti provenienti da altra Facoltà di Ingegneria o da altro corso di Laurea della Facoltà.

a) Gli studenti che intendono proseguire i loro studi presso la Facoltà provenendo da altra Facoltà di Ingegneria o passare da un Corso di laurea ad un altro della Facoltà devono adeguarsi in tutto al nuovo Statuto della Facoltà, in relazione al quale sarà convalidata la carriera scolastica comune già seguita e decisa l'iscrizione ai diversi anni di corso e l'ammissione ai singoli esami.

In particolare non potranno essere iscritti al triennio o sostenere i relativi esami studenti che non abbiano assolto gli obblighi a tali fini previsti dallo Statuto della Facoltà, ad eccezione degli studenti la cui carriera già seguita non prevedeva esami sbarranti specifici del Corso di laurea, previsti invece dallo Statuto di questa Facoltà, ai quali è consentito di sostenere gli esami del primo ciclo del terzo anno prima di aver superato gli esami in questione, purché abbiano superato gli esami previsti dallo Statuto di questa Facoltà per l'iscrizione al terzo anno.

La stessa norma vale anche per i passaggi fra differenti Corsi di laurea.

Gli esami di profitto, anche di insegnamenti in comune a più Corsi di Laurea, debbono essere sostenuti presso il Corso di Laurea cui lo studente risulti regolarmente iscritto.

Gli studenti provenienti da trienni di altre Facoltà di Ingegneria, che non abbiano ancora adempiuto agli obblighi stabiliti dallo Statuto della Facoltà di Ingegneria di Bologna, non potranno sostenere esami del triennio né ottenere iscrizione ad anni successivi di corso finché non abbiano superato gli esami sbarranti.

Nel caso di studenti di questa Facoltà che si siano trasferiti presso altra Sede e successivamente presentino domanda di reinscrizione ad un Corso di laurea della Facoltà di Ingegneria di Bologna, rimane immutata la carriera scolastica percorsa in precedenza presso questa Università e non si terrà conto di eventuali modifiche, adottate da Consigli di

Facoltà di altra Sede, relative a dizioni di insegnamenti seguiti o di esami superati presso l'Università di Bologna.

b) Al fine del riconoscimento della carriera scolastica comune valgono le seguenti norme di convalida per attestazione di frequenza ed esame di insegnamenti seguiti presso altre Sedi salvo quanto eventualmente stabilito dai singoli Consigli di Corso di Laurea:

Insegnamento seguito		Convalidato per
Calcolo elettronico		
Elementi di calcolo numerico e programmazione	9730	Fondamenti di informatica
Programmazione dei calcolatori elettronici	7946	Fondamenti di informatica II
Chimica applicata		Chimica applicata (Meccanici e Ambiente)
	1043	Tecnologia dei materiali e chimica applicata
Chimica applicata ai materiali da costruzione	1043	Tecnologia dei materiali e chimica applicata
Disegno I	1362	Disegno
Disegno II (meccanici)	1363	Disegno di macchine
Geometria I	9757	Geometria e Algebra
Mineralogia	5725	Mineralogia e petrografia
Struttura della materia	406	Fisica atomica
Tecnologia dei materiali e chimica applicata	92	Chimica applicata (Meccanici e Minerari)
Tecnologia generale dei materiali	92	Chimica applicata (Minerari)
	2224	Tecnologia dei materiali
	1043	Tecnologia dei materiali e chimica applicata

Gli insegnamenti di Analisi matematica I e II, Fisica I e II, Chimica, Geometria e Meccanica razionale sono comunque convalidati. Per gli altri corsi fondamentali, le attestazioni di frequenza sono comunque convalidate; la convalida degli esami è subordinata al programma svolto nella Sede o Corso di Laurea di provenienza.

Eventuali equivalenze o sostituzioni tra insegnamenti di cui è stato sostenuto l'esame ed insegnamenti della futura carriera scolastica potranno essere riconosciute, su richiesta dell'interessato, solo all'atto del trasferimento o del cambiamento del corso. La stessa norma vale anche per coloro che si iscrivono essendo in possesso di altra Laurea. Nel caso di passaggi interni da un Corso di Laurea ad un altro, qualora non vi siano da stabilire equivalenze o convalide d'esami, la Segreteria della Facoltà è autorizzata a procedere d'ufficio, facendo obbligo ai richiedenti di uniformarsi integralmente al nuovo piano di studi.

6. - Piani di studio individuali

(Legge 11.13.1969 n. 910, Legge 30.11.1970 n. 924, D.P.R. 11.7.1980 n. 382).

Ai sensi dell'art. 2 della legge n. 910 e dell'art. 4 della legge n. 924, lo «studente può predisporre un piano di studio diverso da quelli previsti dagli ordinamenti didattici in vigore, purché nell'ambito delle discipline effettivamente insegnate e nel numero degli insegnamenti stabiliti». Il termine per la presentazione, da parte degli studenti, dei piani di studio individuali è fissato al 31 dicembre.

Il piano è sottoposto all'approvazione del Consiglio di Corso di Laurea, che decide tenuto conto delle esigenze di formazione culturale e di preparazione professionale dello studente.

I piani di studio, avendo uno sviluppo pluriennale, potranno essere organizzati e seguiti, dopo la loro approvazione, sia per il corrente anno accademico che per quelli successivi fino al completamento del corso di laurea cui essi si riferiscono.

Nel caso che la Facoltà approvi con modifiche il piano di studio formulato dallo studente, quest'ultimo potrà, ove non ritenga di seguire il piano così approvato, scegliere quello previsto sulla base degli attuali ordinamenti didattici.

La facoltà per tutti gli studenti di modificare il piano di studio decorre dall'anno di corso cui si è iscritti e comprende anche gli esami dei quali si sia comunque in debito.

La liberalizzazione dei piani di studio è esercitabile nell'ambito delle discipline effettivamente insegnate nell'anno accademico purché sia rispettato il numero complessivo degli insegnamenti stabilito dal vigente ordinamento per l'ammissione all'esame di laurea.

Il piano va predisposto su un modulo in distribuzione presso le Segreterie alle quali va presentato dopo la compilazione, per l'inoltro al Consiglio di Corso di Laurea per la dovuta approvazione. Presupposto essenziale per la presentazione del piano di studio è la regolare iscrizione entro il 5 novembre per gli studenti in corso o entro il 31 dicembre per gli studenti fuori corso o in trasferimento.

Le decisioni delle Facoltà relative ai piani di studio autonomi vengono notificate agli studenti, a cura degli uffici di Segreteria mediante affissione, per trenta giorni, all'albo presso la Sede centrale.

Analoga procedura verrà seguita per tutte le comunicazioni ufficiali, di carattere collettivo, dirette agli studenti.

A — Criteri generali per l'applicazione delle leggi n. 910 e n. 924

(approvati dal C.d.F. in data 9 Gennaio 1976 e 28 Aprile 1978).

1. Ai sensi della Ministeriale N. 743 del 5 marzo 1970 «non è possibile concedere agli studenti la sostituzione di esami dei quali siano in debito con esami già superati negli anni decorsi».
2. Un solo insegnamento semestrale non può sostituire un insegnamento annuale.
3. Il numero di insegnamenti per anno di corso non può essere inferiore a quello previsto dal piano di studi ufficiale, se non al quinto anno.
4. E' possibile accettare l'anticipazione degli insegnamenti complementari, purché motivata.

5. Gli insegnamenti chiesti in sostituzione si collocano con gli stessi vincoli, nell'anno di corso in cui il piano di studi ufficiale colloca gli insegnamenti sostituiti.
6. Non è accettabile l'inserimento di insegnamenti i cui contenuti si sovrappongano a quelli di altri insegnamenti già previsti nel piano di studi dello studente.
7. Non è accettata la sostituzione di alcun corso con un insegnamento di lingue.
8. Il Consiglio di Corso di Laurea delibera sulle modifiche dei piani di studio sotto l'ovvia condizione che le dichiarazioni rilasciate dallo studente sul modulo di domanda siano *complete e veritiere*. Nel caso in cui esse siano errate in modo tale da implicare la necessità di una nuova delibera, la richiesta di modifica è respinta.

B — Norme di massima per singoli Corsi di Laurea

a) Corso di Laurea in Ingegneria Civile

- 1 — Non è consentita la sostituzione degli insegnamenti obbligatori.
- 2 — L'accettazione delle sostituzioni proposte è subordinata all'esame di esse da parte dell'apposita Commissione istruttoria del Consiglio di Corso di Laurea (la quale accerta la validità del piano degli studi individuale nel suo complesso, ed alla approvazione del C.C.d.L. La Commissione è a disposizione degli studenti per fornire utili indicazioni in proposito).

b) Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

- 1 — Non è consentita la sostituzione di insegnamenti obbligatori.
- 2 — L'accettazione di piani di studio individuali è subordinata all'accertamento della validità del piano di studi proposto nel suo complesso, secondo il criterio di ritenere accettabili solo quelle sostituzioni che portino ad introdurre nel piano degli studi un gruppo di materie che lo caratterizzino in modo coerente con le finalità culturali del corso di laurea in Ingegneria meccanica.

c) Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica

V anno Il corso libero dell'orientamento può essere sostituito con qualunque altro corso di indirizzo o anche con qualunque altro corso impartito dalla Facoltà. In quest'ultimo caso occorre la approvazione del CCdL.

È anche possibile che la scelta di tutti i corsi dell'orientamento sia diversa da quella suggerita dalla Facoltà: anche in questo caso occorre ovviamente l'approvazione del CCdL.

La commissione del CCdL è incaricata di aiutare gli studenti per quanto riguarda la scelta del piano di studi.

d) Corso di Laurea in Ingegneria Chimica

- 1 — Non è consentita la sostituzione di insegnamenti obbligatori sul piano nazionale.
- 2 — Nei piani di studio individuali debbono comunque essere prescelti due insegnamenti di uno stesso orientamento.

e) Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria, Ambiente e Territorio

Gli studenti, prima di presentare il piano degli studi, sono invitati a prendere parte ad una riunione orientativa indetta dal Presidente del C.C.d.L. prima dell'inizio dell'a.a.

Sono sostituibili:

- 1 — gli esami di indirizzo;
- 2 — i seguenti esami obbligatori:
 - Idraulica (salvo che nell'indirizzo Ambiente e Territorio);
 - Meccanica Applicata alle Macchine e Macchine purché uno dei due esami venga sostituito da Meccanica Applicata alle Macchine e Macchine dei Civili.

f) Corso di Laurea nel settore dell'Ingegneria dell'informazione

1) Il piano degli studi deve rispettare il numero di 29 insegnamenti annuali previsto per il conseguimento del diploma di laurea.

2) Gli studenti che provengono da altre Sedi possono presentare un piano di studi individuale solo dopo l'avvenuta convalida del loro precedente curriculum da parte del CCdL.

g) Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare

Il Consiglio di Corso di Laurea, pur consentendo l'utilizzo delle normative relative alla Legge 910, si riserva di valutare la congruenza delle proposte avanzate caso per caso.

7. - Rilascio attestazioni e certificati

a) per ottenere il rilascio di certificati, lo studente deve inoltrare domanda redatta su appositi stampati indicando il tipo, la quantità e se occorrono in bollo od in carta semplice;

b) per ottenere il rinvio del servizio militare per motivi di studio, occorre presentare alla Segreteria, unitamente o successivamente alla domanda di iscrizione, apposita autocertificazione relativa agli esami sostenuti nell'anno solare precedente quello per il quale si chiede il rinvio. La Segreteria, previo controllo, attesterà la veridicità della dichiarazione e la rispondenza con quanto prescritto dal Ministero circa la quantità di esami da superare. Detto documento dovrà essere presentato al Distretto territorialmente competente unitamente alla domanda di rinvio;

c) per ottenere l'abbonamento ferroviario ridotto lo studente dovrà presentare alla Segreteria domanda, redatta in carta semplice sugli appositi stampati, che provvederà a certificare la posizione scolastica. Detto documento dovrà essere presentato alla stazione di partenza unitamente ad un certificato di residenza;

d) analogamente dovrà procedere per ottenere attestazioni da utilizzarsi per ottenere

assegni famigliari, assistenza sanitaria o similari agevolazioni presentando poi l'attestazione all'ente erogatore (INPS, DPT, USL, etc.).

8. - Dispensa dalle tasse e assegno di studio

Per quanto riguarda l'assegno di studio universitario, la dispensa totale dalle tasse scolastiche ed altre provvidenze a favore degli studenti, si veda il dettagliato opuscolo pubblicato dall'Azienda Comunale per il Diritto allo Studio - Ufficio Interventi Individuali (Via Belle Arti, 42).

E' comunque necessario che lo studente sia in regola con il proprio piano di studi individuale o ufficiale.

ASSEGNO DI STUDIO ED ESONERO TASSE

Esami da sostenersi nell'anno accademico 1995/96 ai fini dell'assegno di studio
e dell'esonero tasse per l'anno accademico 1996/97

CORSO DI LAUREA	ANNO DI CORSO				
	I	II	III	IV	V
Civile edile	5	6	6 (a)	6 (a)	6 (a)
Civile idraulica	5	6	6	6 (a)	6
Civile trasporti	5	6	6	6	6
Meccanica	5	5	6	6 o 7 (b)	7 o 6 (b)
Elettrotecnica	5	5	6	6	7
Chimica	5	5	6	7	6 (a)
Mineraria	5	6	5	7 o 8 (c) (b)	6 o 5 (c) (b)
Elettronica	5	5	8	7 o 6 (b)	6 o 7 (b)
Nucleare	5	5	7	6	6

(a) Diventano 7 se l'indirizzo prescelto prevede 2 materie semestrali.

(b) In alternativa, in dipendenza dal numero di materie di indirizzo scelte.

(c) Aumentati di 1 se l'indirizzo prescelto prevede 2 materie semestrali.

Esami da sostenersi ai fini del conseguimento delle condizioni di merito richieste per l'assegno di studio universitario e per l'esonero dalle tasse

A) Per la **dispensa dalle tasse** occorre superare, con la media prescritta ed entro la sessione invernale, tutti gli esami previsti per l'anno di corso frequentato nell'anno accademico precedente; le matricole dovranno avere conseguito nella maturità una votazione non inferiore a 42/60.

B) Per ottenere l'**assegno di studio** le condizioni di merito sono le seguenti:

— **studenti che si iscrivono al I anno:** se hanno conseguito il titolo di studio valido ai sensi della legge 11 dicembre 1969 n. 910 per l'ammissione all'università da non più di due anni.

Gli studenti del I anno per incassare il saldo totale dell'assegno di studio debbono dimostrare di avere sostenuto **almeno due esami** entro l'anno accademico in corso (compresa la sessione invernale);

— **studenti che si iscrivono al II anno:** se abbiano superato **entro la sessione estiva** almeno due degli esami previsti dal piano di studi per l'anno accademico precedente. Tale numero di esami è elevato a tre qualora il numero minimo di esami fissato dal Consiglio di Facoltà ne preveda almeno sei;

— **studenti che si iscrivono ad anni successivi al II:** purché abbiano **completato, entro la sessione estiva**, un numero di esami (tra quelli previsti dal proprio piano di studio degli anni precedenti) corrispondente a quello stabilito ed almeno due di quelli previsti dal piano di studio per l'anno anteriore a quello cui si riferisce la domanda.

Tale numero di esami è elevato a tre qualora il piano di studi ne preveda almeno più di cinque.

Gli studenti che predispongono un piano di studi individuale devono attenersi integralmente al predetto piano, anche se questo comporta un numero di esami diverso da quello fissato nella Tabella sopra riportata.

C) Per ottenere l'esenzione dalle tasse di immatricolazione, iscrizione ed esami gli studenti che non si trovino nelle condizioni di disagio economico previsto dalla legge 41/1986 dovranno presentare direttamente alla Segreteria apposita istanza in carta semplice ed avere conseguito le seguenti condizioni di merito:

a) matricole iscritte al I anno di corso: 60/60 nell'esame di maturità

b) studenti iscritti in corso ad anni successivi: avere sostenuto tutti gli esami degli anni precedenti ed avere conseguito una media di almeno 28/30 in quelli previsti per l'anno immediatamente precedente.

Analogo tipo di esenzione otterranno gli studenti in corso che si trovino nelle condizioni economiche previste dalla legge 41/1986, tali condizioni verranno accertate dall'Ufficio Interventi Individuali al quale deve essere presentata documentata istanza, anche qualora non posseggano le sopraindicate condizioni di merito.

9. - Norme per il rinvio del servizio militare

La *domanda* per l'ammissione o la continuazione nel beneficio del ritardo della prestazione del servizio militare, deve essere presentata direttamente o tramite posta (con raccomandata R.R.) al Distretto Militare o all'Ufficio Leva della Capitaneria di Porto di appartenenza entro il 31 dicembre, possibilmente utilizzando l'apposito modulo pre-stampato ed allegando il certificato d'iscrizione e frequenza.

Il *ritardo* è concesso fino a:

- 26 anni per corsi aventi durata di 4 anni;
- 27 per corsi di 5 anni;
- 28 per quelli di più di 5 anni;

- fermo restando i limiti di età stabiliti, il ritardo può essere concesso per un periodo di tempo pari alla durata legale del corso di laurea aumentata di tre anni.

Per ottenere il beneficio del ritardo *si deve dimostrare:*

- al primo anno, la sola iscrizione ad un corso universitario di laurea o di diploma;
- al secondo anno, il superamento di almeno un esame previsto dal piano degli studi, nel corso dell'anno solare precedente a quello per il quale si chiede il rinvio;
- negli anni successivi, almeno due esami previsti dal piano degli studi (ridotto ad uno quando il piano di studi non ne prevede più di due per l'anno di corso interessato);
- per i laureandi o diplomandi, il completamento di tutti gli esami previsti dal piano degli studi e la mancanza del solo esame di laurea o di diploma da sostenere dopo il 31 dicembre.

Possono continuare a fruire del ritardo i giovani che:

- abbiano dovuto sospendere gli studi per un solo anno e per gravi ragioni, e che intendano riprenderli l'anno successivo;
- abbiano conseguito la laurea o il diploma ma debbano seguire corsi di specializzazione o sostenere esami di stato o di abilitazione per l'esercizio della professione.

Per maggiori informazioni rivolgersi direttamente ai Distretti Militari o agli Uffici Leva delle Capitanerie di Porto di appartenenza.

PROGRAMMI DELLE MATERIE DI INSEGNAMENTO

CORSI DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE E ING. EDILE

Programmi delle materie di insegnamento del **biennio propedeutico**.

6181

ANALISI DEI SISTEMI

Docente:

Finalità del corso

Il corso affronta alcuni problemi relativi ai metodi di costruzione di modelli matematici di sistemi e/o fenomeni reali, alle caratteristiche strutturali di tali modelli ed al loro impiego per la soluzione di problemi di previsione e di controllo. L'obiettivo principale è quello di presentare una metodologia per l'analisi dei sistemi che sia quanto più possibile unitaria, evidenziando la base teorica comune a procedimenti che sono utilizzati nella soluzione di problemi afferenti a settori applicativi anche molto diversi tra loro. Si tiene sempre presente l'aspetto computazionale, soprattutto nei casi in cui la complessità del sistema e, quindi, la dimensione del modello rendono necessario il ricorso all'elaborazione automatica.

Programma

Probabilità e statistica — Definizioni e caratteristiche generali. Probabilità a priori e probabilità in termini di frequenza. La teoria assiomatica della probabilità come metodologia di costruzione di modelli matematici di fenomeni aleatori. Variabili aleatorie. Leggi di probabilità. Proporzioni e campioni. Presentazione di dati campionari: distribuzioni di frequenza ed istogrammi. Teoria elementare dei campioni. Teoria della stima. Problemi di inferenza statistica: stima puntuale, stima per intervalli, verifica delle ipotesi.

Sistemi e modelli — Definizioni e caratteristiche generali. Classificazione dei modelli matematici: statici, dinamici, a parametri concentrati, a parametri distribuiti, lineari, non lineari, a parametri invarianti nel tempo, a parametri varianti nel tempo, a tempo continuo, a tempo discreto, deterministici, stocastici. Metodi (di costruzione dei modelli) da leggi fisiche e metodi black-box.

Modelli econometrici Input-Output per l'analisi di sistemi di produzione multisettoriali. Calibrazione ed impiego dei modelli econometrici.

Modelli di regressione lineare semplice e multipla per la costruzione di modelli mate-

matici statici (deterministici e stocastici) a partire da dati osservati.

Modelli gravitazionali per l'analisi di relazioni interzonali in problemi di traffico o, in generale, di trasporto. Calibrazione ed impiego dei modelli gravitazionali.

Modelli dinamici lineari per lo studio di fenomeni varianti nel tempo: analisi dell'evoluzione temporale dello stato e della risposta, analisi della stabilità dello stato e della risposta.

Modelli di ottimizzazione a supporto di problemi decisionali con più soluzioni ed un unico obiettivo da perseguire. Programmazione matematica. Esempi di programmazione lineare. Elementi della teoria dei grafi (nel senso di Koenig). Problemi di ottimizzazione combinatoria. Cammini minimi su grafi e reticoli e relativi algoritmi di soluzione.

Modelli reticolari per la programmazione ed il controllo della produzione. PERT/CPM: reticolo delle precedenze, analisi temporale, analisi delle risorse, analisi durata-costi di un progetto.

Testi consigliati

Vengono forniti appunti preparati dal docente, contenenti anche le indicazioni bibliografiche per l'approfondimento di temi specifici.

Svolgimento degli esami

L'esame consiste nella sola prova orale.

1349

ANALISI MATEMATICA I (per Civili ed Edili)

Docente: **Pier Luigi Papini** prof. ord.

Preliminari sulle funzioni. Numeri complessi. Successioni, serie numeriche. Funzioni di una variabile reale: limiti e continuità; derivate; integrazione (e integrali impropri). Cenni di probabilità.

Testo: ogni anno viene scelto e seguito a lezione un testo universitario di Analisi uno (e vengono forniti appunti relativi ad eventuali argomenti trattati a lezione non contenuti nel testo). In genere ci si può comunque preparare per l'esame anche utilizzando testi diversi.

È opportuno che lo studente attui la sua preparazione anche mediante l'uso di un testo di esercizi svolti, in quanto l'esame prevede una prova scritta, che costituisce parte importante dell'esame, anche ai fini della valutazione complessiva.

Lo studente può prendere visione degli esercizi assegnati all'esame anche consultando il volumetto: *Prove di esame di Analisi Matematica I* (a cura di Pier Luigi Papini), ed. Esculapio (progetto Leonardo; 2^a edizione), Bologna 1995.

Il programma dettagliato del corso, distribuito a lezione al termine del corso assieme ad indicazioni relative allo svolgimento dell'esame, possono essere richiesti al docente (o alla segreteria del CIRAM, via Saragozza 8).

1353

ANALISI MATEMATICA II (per Civili ed Edili)Docente: **Angelo Malferrari** prof. inc. stab.*Programma*

Successioni e serie di funzioni.

Calcolo differenziale per campi scalari e vettoriali. Applicazioni del calcolo differenziale.

Integrali curvilinei. Integrali multipli. Integrali superficiali.

Sistemi di equazioni differenziali.

*Testi consigliati:*T. APOSTOL, *Calcolo*, vol. 3, Boringhieri.L. AMERIO, *Analisi matematica*, voll. I, II, UTET.D. GRECO, G. STAMPACCHIA, *Esercitazioni di Matematica*, vol. II, Liguori.C. MIRANDA, M. PICONE, *Esercizi di Analisi matematica*, Liguori.

9939

CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE NUMERICADocente: **Fiorella Sgallari** prof. ass.

Scopo del corso:

- fornire uno strumento di approccio logico alla analisi e alla soluzione di diverse classi di problemi;
- introdurre all'uso di linguaggi di programmazione (FORTRAN IV e BASIC), per la traduzione degli algoritmi di risoluzione in programmi per elaboratori elettronici;
- analizzare i principali problemi di calcolo numerico e descrivere gli algoritmi che li risolvono.

Programma

— Generalità sulla risoluzione dei problemi mediante elaboratore elettronico. Analisi dei problemi. Definizione di algoritmo e sue proprietà. Linguaggi per la descrizione degli algoritmi. Programmazione degli algoritmi.

— Diagrammi di Flusso.

Definizione di diagramma di flusso. Elementi di base (Valori, Costanti, Variabili scalari e con indici, Espressioni). Istruzioni (Assegnazione, Ingresso-Uscita, Salto condizionato e incondizionato, Inizio e Fine, Definizione). Cicli, Sottoalgoritmi e Procedure.

— Descrizione funzionale di un elaboratore elettronico.

Processo di elaborazione automatica. Struttura ed organizzazione di un elaboratore elettronico. Sistemi di numerazione. Rappresentazione delle informazioni. Problemi di arrotondamento e di precisione.

— Linguaggi di Programmazione.

Classificazione dei linguaggi. Linguaggio FORTRAN 77. Linguaggio BASIC. Ricerca, identificazione e correzione degli errori. Classificazione dei tipi più comuni di errori sintattici e di errori logici. File e record. Uso di file sequenziali.

— Algoritmi di Calcolo Numerico.

Sistemi di equazioni lineari

Generalità. Metodo di eliminazione di Gauss e sue varianti. Fattorizzazione LU. Fattorizzazione di Cholesky. Norme matriciali e indici di condizionamento. Problema lineare dei minimi quadrati. Trasformazioni ortogonali e matrici di Householder. Metodi iterativi. Studio della convergenza. Teoremi di Gerschgorin. Metodi di Gauss-Seidel e «over-relaxation».

Autovalori e autovettori.

Generalità. Metodo delle potenze. Metodo delle potenze inverse. Metodi di Jacobi e Givens per matrici hermitiane. Riduzione a forma tridiagonale o quasi triangolare.

Sistemi di equazioni non lineari.

Generalità. Problemi di punto fisso. Ordine di un procedimento iterativo. Metodi di Newton e sue varianti. Metodi di bisezione, delle secanti, delle corde.

Ottimizzazione.

Generalità. Algoritmi per funzioni di una variabile: metodo di Fibonacci e della sezione aurea. Problemi multidimensionali. Metodi di discesa. Metodi di gradiente coniugato. Metodo di Newton e sue varianti. Programmazione lineare. Metodo del semplice.

Interpolazione.

Interpolazione polinomiale. Formula di Lagrange. Differenze divise. Differenze finite. Rappresentazione del resto. Interpolazione con polinomi continui a tratti.

Integrazione numerica.

Generalità. Formule di Newton-Cotes. Formule di quadratura composite. Formule di Gauss.

Equazioni differenziali ordinarie e a derivate parziali.

Problemi di valori iniziali. Metodi ad un passo e a più passi. Metodi di Runge-Kutta. Metodi alle differenze finite. Metodi agli elementi finiti. (Cenni).

Le lezioni vengono integrate con una serie di *esercitazioni* pratiche con il calcolatore.

Indicazioni bibliografiche:

G. AGUZZI, M.G. GASPARO, M. MACCONI, *FORTRAN 77*, Pitagora Editrice, 1987.

G.C. BAROZZI, *Introduzione agli algoritmi dell'algebra lineare*, Zanichelli, 1976.

D. BINI, M. CAPOVANI, O. MENCHI, *Metodi numerici per l'algebra lineare*, Zanichelli, 1988.

I. GALLIGANI, *Elementi di analisi numerica*, Calderini, 1986.

G. MONEGATO, *Calcolo numerico*, Levrotto e Bella, 1985.

J.N. REDDY, *An introduction to the finite element method*, McGraw-Hill, 1984.

1357

CHIMICA (Civili ed Edili)Docenti: **Giovanni Milani** prof. ass. (Edili)**Maurizio Toselli** ricerc. (inc.) (Civili)

Il Corso presenta i fondamenti della chimica a partire dalla struttura atomica, collegando ad essa le reattività delle sostanze elementari, l'attivazione dei diversi tipi di legame chimico, le proprietà fondamentali delle sostanze semplici e complesse.

Sono indicati i criteri da seguire per giustificare il decorso delle reazioni chimiche, lo stato di equilibrio e le condizioni che possono interferire in termini di rendimento e di velocità.

Particolare attenzione è riservata ad alcuni temi di principale interesse per l'ingegnere civile-edile, quali i diagrammi di stato, gli equilibri ionici in soluzione acquosa, la corrosione elettrochimica.

Ampio spazio è riservato alla traduzione dei principi teorici in considerazioni pratiche, corredate anche da calcoli numerici.

A fini propedeutici per i successivi Insegnamenti, sono presentate nomenclatura e struttura dei composti organici fondamentali.

Programma:

- Struttura macroscopica e microscopica della materia;
- Struttura dell'atomo e del nucleo, radioattività;
- Sistema periodico degli elementi;
- Legami chimici: covalente, ionico e metallico;
- Stati di aggregazione della materia; cambiamenti di stato e diagrammi di stato;
- Soluzioni; elettroliti;
- Reazione chimica ed equilibrio chimico;
- Elettrochimica: pile, corrosione, elettrolisi;
- Cinetica chimica;
- Fondamenti strutturali di chimica organica.

Testi consigliati:

- G. MILANI, *Lezioni di Chimica*, ed. Esculapio.
 R.A. MICHELIN - A. MUNARI, *Fondamenti di Chimica*, ed. CEDAM.
 P. CHIORBOLI, *Fondamenti di Chimica*, ed. UTET.
 P. MANARESI - E. MARIANUCCI, *Problemi di Chimica*, ed. Esculapio.

1362

DISEGNO I (Civile)Docenti: **Roberto Mingucci** prof. ass. (Edili)**Ottorino Marinoni** ricerc. (inc.) (Civili)*Finalità del Corso:*

Il corso di Disegno ha la finalità di indirizzare l'allievo all'impiego dei metodi e dei procedimenti di rappresentazione di oggetti propri dell'Ingegneria Civile, in conformità alle esigenze di disegno tecnico.

Argomenti delle lezioni

Il programma del corso si articola sui seguenti principali argomenti teorici.

- Fini del disegno tecnico. Il disegno a mano libera e geometrico. Strumenti. Norme ed unificazioni. Tecniche di riproduzione dei disegni.
- Scale (planimetrie, rappresentazioni d'insieme, particolari ecc.). Quotatura del disegno.
- Figure piane: curve notevoli, raccordi, archi policentrici.
- La geometria proiettiva grafica. Proposizioni fondamentali. Operazioni fondamentali.
- Proiezioni ortogonali. Metodo della doppia proiezione. Metodi di proiezioni multiple.
- Gli enti fondamentali. Condizioni di appartenenza, parallelismo, ortogonalità.
- Sezioni piane. Superfici semplici e complesse. Innessi e raccordi di superfici.
- Sezioni piane del cono. Omologia. Corrisp. omologica con la circonferenza. Sezioni del cilindro.
- Proiezioni oblique. Teoria delle ombre ed applicazioni. Ombre tecniche.
- Proiezioni quotate. Planimetria, profilo.
- Assonometria (ortogonale e obliqua). Assonometrie unificate. Ombre in assonometria.
- Prospettiva concorrente (frontale ed accidentale).
- Metodi delle proiettanti, della pianta prospettica e dei punti di misura.
- Ombre in prospettiva.
- Restituzione grafica di oggetti tridimensionali tramite la prospettiva.
- Il disegno di progetto. Planim. catastali. Planivolumetrico.
- Rappresentazione di edifici con caratteri tipologici tradizionali e moderni.
- Disegno di strutture edilizie, di particolari costruttivi o elementi di completamento.

Esercitazioni

Gli studenti sono tenuti a esercitarsi nell'uso delle tecniche grafiche e proiettive, nonché nel disegno a mano libera. Le esercitazioni sono suddivise in tre «Moduli»:

1° Modulo: *Esercizi di proiettiva* in tavole di formato A3;

2° Modulo: *Esercizi di disegno tecnico* in tavole di formato UNI;

3° Modulo: *Esercizi a mano libera* su un apposito quaderno.

Testi

Testi base (a cui si fa riferimento nel corso delle lezioni):

- 1) R. BALLETTI, V. VALERIANI, *Disegno tecnico*, Bologna, Editore Pitagora, 1989.
- 2) M. DOCCI, *Manuale di disegno architettonico*, Bari, Editore Laterza, 1992.
- 3) AA.VV., *Manuale dell'architetto*, Roma, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 1962.

Testi di approfondimento:

- 4) M. VILLA, *Elementi di proiezione grafica, geometria descrittiva, nomografia*, Padova, Editore Cedam, 1969.
- 5) M. DOCCI, R. MIGLIARI, *Scienza della rappresentazione*, Bari, Editore Nuova Italia Scientifica, 1992.

3656

DISEGNO II (Civili, Edili)

Docente: **Alberto Pratelli** prof. ord.

Finalità del corso

Il corso viene svolto attraverso lezioni ed esercitazioni strettamente connesse. Mentre l'esperienza diretta sul disegno dovrà essere il più possibile continua, le lezioni assumono, parallelamente, una funzione di esempio e di stimolo, descrivendo i connotati che la disciplina può assumere nelle varie fasi.

Le lezioni teoriche sono quindi correlate ad esempi concreti che permettano di comprendere e confrontare l'uso dei vari sistemi grafici possibili, in funzione dei fini scelti: esse si propongono di permettere l'analisi dei sistemi di rappresentazione legati all'architettura nei vari casi, siano essi rappresentazione di funzioni, di sistemi costruttivi di riferimento, o problematiche aperte dai contenuti alle varie scale operative.

Programma

Parte prima

Lettura e rappresentazione. Approccio ai problemi della rappresentazione del territorio e dell'esistente. Si vuole mostrare come il disegno copra un ampio campo di conoscenza dei fenomeni esistenti, da quelli urbani rappresentabili a volte con operazioni astratte, a quelli del rilievo su cui il corso punta in maniera particolare, per mostrare come un rilievo adatto possa, sia innescare un fondamentale processo di conoscenza, sia servire di base per successive operazioni progettuali.

Parte seconda

Le diverse scale dell'intervento progettuale. In questa parte vengono specialmente identificati i sistemi di rappresentazione dell'elemento da costruire e non ancora esistente,

della materia con cui sarà realizzato e della forza che dovrà assumere. Si vuole mostrare come ogni sistema di progetto, anche in passato, corrispondesse ad un sistema costruttivo, e come quindi il disegno precostituisca, con la sua forza di indagine e di rappresentazione, le soluzioni finali volute, sia in termini di architettura, che di funzioni e di organizzazione dello spazio di scelta dei particolari costruttivi e di organizzazione del processo tecnologico scelto. Ad esempio: rapporti tra tipologie edilizie e scelte progettuali; rapporti tra dimensioni; scomposizione degli elementi funzionali e architettonici; lettura analitica di serie di disegni esecutivi; sistemi di quotatura utili ai vari sistemi compositivi; progettazione e organizzazione dei disegni esecutivi; il disegno della progettazione.

Parte terza

L'uso degli strumenti di elaborazione della rappresentazione dello spazio. Questa parte, di per sé applicativa, intende fornire quelle basi propedeutiche, inalienabili, del patrimonio di conoscenze legate al disegno. La relazione tra i diversi argomenti vuole ricondurre gli esempi ad un unico filo conduttore che, tessendo l'interscambio continuo tra le diverse tecniche, permetta in concreto il passaggio tra la geometria ed il suo uso a fini applicativi, ed i diversi modi di generare ed esperire lo spazio.

Ad esempio: elementi fondamentali per l'elaborazione di prospettive; scelta del sistema idoneo al caso in oggetto; uso pratico di prospettive e disegni assonometrici; elementi di teoria delle ombre; uso pratico della fotografia come coadiuvante nel rilievo e nel disegno di progetto.

Nelle *esercitazioni* si vuole evidenziare il processo di scelte da compiere in una operazione applicativa. Esse tendono quindi ad accogliere nel loro complesso tutte le fasi e le forme in cui si attuano le «maniere» del disegno. Il rilievo e la preparazione al progetto sono visti come processi dello stesso ordine, anche se, per così dire, di senso inverso: l'uno è verifica dell'altro, l'altro è ipotesi del precedente; dal primo e dai problemi che schiude e nello stesso tempo risolve, prendono le mosse le successive fasi dell'esercitazione, che diventa così un momento grafico non fine a se stesso, ma logica traduzione in una fase chiaramente leggibile e con contenuti precisi, specificati di volta in volta.

2429

ESTIMO CIVILE (sem.) (Civili, Edili)

Docente: **Alberto Corlaita** prof. ord. (inc.)

1) *Estimo Catastale*

Generalità - *Nuovo catasto terreni*: operazioni fondamentali della formazione e della conservazione. Operazioni di misura. *Nuovo catasto edilizio urbano*: operazioni fondamentali della formazione e della conservazione.

2) *Elementi di estimo urbano*

Stime del valore di mercato dei fabbricati urbani. Le stime delle aree fabbricabili.

Le stime dei diritti reali e le valutazioni cauzionali.

Il costo di produzione dell'attività edilizia.

Applicazione del valore complementare, del valore di trasformazione e del valore di surrogazione nell'estimo urbano. Estimo condominiale.

Stime per espropriazione di pubblica utilità.

La consulenza tecnica nella procedura civile.

La legge 27.7.1978 n. 293 sulla disciplina delle locazioni degli immobili urbani. Equo canone.

Testi consigliati:

- 1) E. DI COCCO, *Elementi di Economia Generale*, Vol. 1°, Edagricole 1973.
- 2) Dispense del docente.
- 3) I. MICHIELI, *Estimo*, 3 edizione, Edagricole 1980.
- 4) C. FORTE, B. DE' ROSSI, *Principi di Economia ed Estimo*, edizione Etas Libri 1979.
- 5) P. CARRER, *Un piano di trasformazione immobiliare*, edizione Patron 1982.

L'esame è costituito da una prova orale che normalmente si articola in 5 domande ciascuna afferente ai 5 dissimili argomenti di cui il Corso si compone.

Tesi di laurea — Le tesi sono a carattere sperimentale con riferimento a casi pratici, prevalentemente, afferenti l'ingegneria civile edile, sviluppati a livello tecnico-economico-estimativo.

1366

FISICA I (per Civili e Edili)

Docenti: **Ignazio G. Massa** prof. ord. (A-K)

Marco Capponi prof. ass. (L-Z)

Finalità del corso:

- fare capire secondo quale logica la Fisica utilizza ed interpreta i fatti sperimentali, ricavandone schemi e leggi;
- fare acquisire una buona padronanza nell'uso di alcuni concetti fisici fondamentali;
- dare un quadro unitario dei Principi della meccanica classica e della termodinamica.

Programma sintetico del corso

1. *Introduzione e calcolo vettoriale*

Leggi fisiche. Grandezze fisiche e loro misure: unità e dimensioni. Misurazioni e strumenti. Errori casuali e sistematici. Vettori liberi e applicati: loro proprietà e rappresenta-

zioni. Operazioni con i vettori. Momenti polare e assiale. Sistemi di vettori applicati. Derivazione ed integrazione di vettori. Gradiente e rotore.

2. *Meccanica*

Sistemi di riferimento. Punto materiale. Equazioni del moto. Spostamento, velocità e accelerazione. Velocità e accelerazione angolari. Studio di alcuni semplici moti. Cinematica dei sistemi rigidi. Moto relativo. Concetto di forza. Il I° Principio e i sistemi di riferimento inerziali. Il II° Principio: massa inerziale e massa gravitazionale. Reazioni vincolari. Quantità di moto e momento della quantità di moto. Impulso e momento dell'impulso. Studio di alcuni semplici problemi di dinamica del punto materiale. Forze inerziali: moti relativi alla Terra. Cenni sulle interazioni fondamentali e sulla relatività ristretta. Lavoro ed energia. Energia potenziale e campi conservativi. Energia cinetica. Conservazione dell'energia meccanica. Forze non conservative. Il III° Principio. Urti e forze impulsive. Equazioni cardinali. Centro di massa e sue proprietà. Momenti di inerzia e loro calcolo. Dinamica dei sistemi rigidi.

3. *Termodinamica*

Coordinate macroscopiche. Equilibrio termodinamico. Concetto di temperatura e termometri. Equazioni di stato. Lavoro termodinamico. Trasformazioni quasi statiche e reversibili; condizioni per la reversibilità. Gas reali ed ideali. Energia interna. Il I° Principio. Concetto di calore. Capacità termica. Conversione di energia meccanica in energia interna e viceversa. Macchine termiche e frigorifere. Il II° Principio. Ciclo e teorema di Carnot. Concetto di entropia. Entropia, reversibilità e irreversibilità. Energia degradata. Energie libere. Elementi per una interpretazione microscopica.

Testi consigliati:

- S. FOCARDI, I. MASSA, A. UGUZZONI, *Fisica 1*, Editrice Pitagora.
 M. BRUNO, M. D'AGOSTINO, M.L. FIANDRI, *Esercizi di Fisica 1*, Editrice Clueb Bologna.
 A. BETTINI, *Meccanica e termodinamica*, Editrice Decibel-Zanichelli.
 R. RESNICK, D. HALLIDAY, V.S. KRANE, *Fisica 1*, Editrice Ambrosiana.
 S. ROSATI, *Fisica generale*, Editrice Ambrosiana.

Esercitazioni: costituiscono parte integrante del corso.

Esame: una prova scritta più una prova orale.

Propedeuticità consigliate: Analisi matematica I, Geometria e Algebra.

1370

FISICA II (per Civili ed Edili)Docente: **Mauro Bruno** prof. ass.*Finalità del corso*

Fornire gli elementi di base di elettromagnetismo e di ottica, sottolineando gli aspetti unitari della Fisica. Trattare le principali applicazioni ed eseguire alcuni problemi.

Programma schematico

Campo elettrostatico nel vuoto: carica elettrica e legge di Coulomb. Legge di Gauss. Potenziale elettrostatico. Energia elettrostatica.

Campo elettrostatico nella materia: conduttori, condensatori e dielettrici. Carica di polarizzazione. Vettore \vec{P} e campo di induzione elettrica \vec{D} .

La corrente elettrica stazionaria: Principio di conservazione della carica elettrica. Legge di Ohm. Effetto Joule.

Interazioni magnetiche: Legge di Biot e Savart. Campo di induzione magnetica e sue equazioni. Potenziale magnetico.

Magnetizzazione della materia: Equazioni del campo \vec{M} . Campo \vec{B} nella materia. Il campo \vec{H} . Materiali diamagnetici, paramagnetici e ferromagnetici. Induzione elettromagnetica: Legge di Faraday. Forza di Lorentz. Correnti indotte. Energia magnetica. Trasformatori di tensione.

Circuiti con diversi componenti (R, C, L).

Onde elastiche: Equazione delle onde. Equazione di d'Alembert. Velocità di fase e di gruppo. Effetto Doppler.

Le equazioni di Maxwell ed i campi d'onda: La corrente di spostamento. Soluzioni delle equazioni di Maxwell nel vuoto. Onde elettromagnetiche. Vettore di Poynting.

Ottica geometrica: Principio di Fermat. Sistemi ottici: specchi sferici, diottri, lenti.

Ottica fisica: Interferenza della luce. Principio di Huygens-Fresnel. Coerenza. Diffrazione da una fenditura. Diffrazione di Fresnel. Polarizzazione lineare, circolare ed ellittica.

Cenni di Fisica Quantistica: Radiazione di corpo nero. Quantizzazione della luce e legge di Plank. Effetto fotoelettrico. Effetto Compton. Dualismo onda-Corpuscolo di de Broglie. Principio di indeterminazione di Heisenberg.

Testi consigliati:

E. AMALDI, R. BIZZARRI, G. PIZZELLA, *Fisica generale*, ed. Zanichelli.

M. ALONSO, E.J. FINN, *Elementi di Fisica per l'Università*, ed. Addison-Wesley.

A. BETTINI, *Elettromagnetismo*, ed. Decibel-Zanichelli.

Esame: una prova scritta (problema di elettromagnetismo o ottica) più una prova orale sugli argomenti svolti.

Propedeuticità consigliate: Analisi matematica II, Fisica I.

9730

FONDAMENTI DI INFORMATICA (Civili, Edili)Docente: **Michele Favalli** ricerc. (inc.)

9757

GEOMETRIA E ALGEBRA (per Civili ed Edili)Docenti: **Luigi Cavalieri D'Oro** prof. ord. (Civili)**Luciano Gualandri** ricerc. (Edili)

Finalità del corso: Fornire all'allievo ingegnere gli elementi essenziali dell'algebra lineare e delle sue applicazioni geometriche.

Programma

- Cenni di teoria degli insiemi
- Strutture algebriche
- Spazi vettoriali e sistemi lineari

Cenni sugli Spazi proiettivi

Definizione ed esempi di spazi proiettivi costruiti a partire da uno spazio vettoriale — sottospazi — dipendenza lineare e indipendenza di punti di uno spazio proiettivo — riferimenti proiettivi omogenei e coordinate proiettive omogenee — equazioni di sottospazi di uno spazio proiettivo — proiettività e loro equazioni — gruppo delle omografie — birapporto di 4 punti di una retta proiettiva — quaterne armoniche — geometria proiettiva.

Spazi affini

Definizione ed esempi di spazi affini e di loro sottospazi — Uguaglianza affine e combinazioni affini di punti di uno spazio affine — affine dipendenza e indipendenza di punti di uno spazio affine — vettori liberi di uno spazio affine — sistemi di riferimento in uno spazio affine — rappresentazione mediante sistemi lineari di sottospazi di uno spazio affine — relazioni fra le strutture vettoriali, affini e proiettive — parallelismo negli spazi affini — spazi affini sghembi — affinità e loro equazioni — geometria affine.

Spazi euclidei

Definizione, proprietà e modelli di spazi euclidei — coordinate cartesiane ortogonali — distanze di punti e lunghezze di segmenti — perpendicolarità negli spazi euclidei — equazioni di sottospazi ortogonali — uguaglianze (traslazioni e rotazioni) negli spazi euclidei e loro equazioni — geometria euclidea — angoli nel piano euclideo — coseni e prodotto scalare — teorema di Carnot — equazioni e angoli di rette orientate — coseni direttori — volumi h-dimensionali e aree.

Elementi di algebra dei polinomi

Polinomi e applicazioni polinomiali — principio d'identità dei polinomi — equazioni algebriche e loro radici — teorema fondamentale dell'algebra — radici multiple — M.C.D. di polinomi — ricerca delle radici di un'equazione algebrica a coefficienti reali — funzioni simmetriche delle radici di un'equazione algebrica — risultante di due equazioni algebriche — discriminante di un'equazione algebrica.

Forme bilineari e quadratiche — Autovalori e autovettori - Forme canoniche di matrici

Definizione di applicazioni e forme bilineari e quadratiche — polinomiale e matrice associati ad una forma bilineare o quadratica rispetto a una base — rango di una forma quadratica — matrici congruenti — definizione e ricerca degli autovalori e degli autovettori — molteplicità algebrica e geometrica degli autovalori — forme canoniche triangolari e diagonali delle matrici.

Studio delle iperquadriche con particolare riferimento alle coniche ed alle quadriche

Definizione e classificazione delle iperquadriche negli spazi proiettivi, affini ed euclidei — polarità rispetto ad una iperquadrica (in particolare rispetto ad una conica e ad una quadrica) — fasci di coniche — Coniche degeneri — Centro e diametri di una conica non degenera — proprietà delle coniche nel piano euclideo — ellisse, iperbole e parabole come luoghi di punti — fuochi e direttrici di una conica — eccentricità — forme canoniche dell'equazione di una conica del piano euclideo — equazione di una circonferenza — quadriche specializzate e degeneri — centro e piani diametrali di una quadrica — iperboloidi, paraboloidi ed ellissoidi e loro equazioni canoniche nello spazio euclideo.

Testi consigliati:

L. CAVALIERI D'ORO, M. PEZZANA, *Corso di Geometria*, Vol. I e II, parte V e VI, Ed. Esculapio, Bologna.

8325

ISTITUZIONI DI ECONOMIA (sem.) (Civili, Edili)Docente: **Alessandro Romagnoli** prof. ass.*Finalità*

L'obiettivo del corso è di presentare, dopo una panoramica relativa agli strumenti di base per l'analisi, le problematiche economiche legate alla localizzazione abitativa e industriale, nonché i principali approcci economici allo studio degli agglomerati urbani.

Programma

Parte prima: Istituzioni di economia

a) Il sistema economico e il problema dell'equilibrio.

- b) L'economia del benessere e l'analisi costi-benefici.
- c) Teoria della domanda e rappresentazione economica del mercato.

Parte seconda: Istituzioni di economia della localizzazione

- d) Scienza economica, economia regionale ed economia urbana.
- e) Problemi e principi di economia spaziale.
- f) Economia della localizzazione.
- g) Economia di agglomerazione.
- h) Economia dell'interazione spaziale.
- i) Economia urbana (1): il principio dell'ordine della città e i modelli gerarchici.
- l) Economia urbana (2): i modelli della città come base economica.
- m) Teoria della rendita fondiaria urbana.

Testi consigliati:

Appunti delle lezioni

O'SULLIVAN, *Economia e territorio*, Il Mulino.

R. CAMAGNI, *Economia urbana*, N.I.S.

1378

MECCANICA RAZIONALE (per Civili e Edili)

Docente: **Tommaso Antonio Ruggeri** prof. ord.

Programma

Calcolo vettoriale — Componenti cartesiane di un vettore. Risultante di un sistema di vettori. Prodotto di uno scalare per un vettore. Prodotto scalare, vettoriale, misto. Doppio prodotto vettoriale. Omografie vettoriali. Vettori applicati. 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 variabili e loro derivazione. Operatori lineari.

Cinematica del punto. Velocità, accelerazione e loro proprietà. Spostamenti elementari ed effettivi. Moti piani. Formula di Binet.

Cinematica di sistemi rigidi. Moto rigido. Angoli di Eulero. Formula di Poisson. Velocità angolare. Legge di distribuzione delle velocità. Classificazione e proprietà dei moti rigidi.

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 infinitesimi, possibili e virtuali.

Baricentri e momenti di inerzia. Concetto di massa. Baricentro di un sistema particel-

lare e continuo. Definizione di momento di inerzia. Teorema di Huyghens Steiner. Momento di inerzia rispetto ad assi concorrenti. Ellissoide di inerzia. Giroscopi.

Cinematica delle masse. Quantità di moto. Momento della quantità di moto. Forza viva. Teorema di König.

Lavoro. Lavoro elementare ed effettivo. Lavoro per un cammino finito. Forze conservative. Lavoro di un sistema di forze.

Principi della meccanica. Principio di inerzia. Proporzionalità tra forze ed accelerazione. Parallelogramma delle forze. Azione e reazione. Postulato delle reazioni vincolari. Principio di relatività galileiana.

Statica. Equilibrio di un punto materiale. Meccanica terrestre: peso. Equazioni cardinali della statica. Principio delle reazioni vincolari. Principio dei lavori virtuali. Stabilità dell'equilibrio. Equilibrio di un sistema olonomo. Equazioni di un punto vincolato su una superficie e su una curva.

Meccanica delle verghe e dei fili. Equazioni delle verghe. Alcuni problemi di equilibrio delle travi. Equazioni dei fili. Curva dei ponti sospesi. Catenaria omogenea.

Dinamica del punto. Problemi analitici della dinamica del punto. Integrali primi delle equazioni di moto. Moto dei gravi. Oscillazioni forzate. Risonanza. Punto mobile su una superficie prestabilita e su una traiettoria assegnata. Pendolo semplice. Legge di gravitazione universale. Problema dei due corpi. Deviazione dei gravi verso oriente.

Dinamica dei corpi rigidi. Equazioni di Eulero. Moto di un corpo rigido con un asse fisso. Principio dell'effetto giroscopico. Moti alla Poinsot.

Elementi di meccanica analitica. Principio di D'Alembert. Equazioni di Lagrange.

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 — 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, *Laboratorio di Meccanica Razionale:*

Esercizi, Temi di esame e Software matematico, Esculapio, Bologna.

Appendici — T. RUGGERI, *Appunti di Meccanica Razionale: Richiami di Calcolo Vettoriale e Matriciale*, Pitagora, Bologna.

1043

TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA

Docente: **Virna Bonora** ricerc. (inc.)

Finalità del corso

Il corso si propone di fornire agli ingegneri civili ed edili uno strumento razionale per l'impiego corretto dei vari materiali nelle costruzioni (tecnologia e posa in opera del

calcestruzzo, malte e tecnologie speciali, leghe metalliche, materie plastiche, resine e materiali compositi, ceramici, etc.), per la previsione delle condizioni di degradazione in servizio, e per le tecniche di protezione dei materiali dal degrado e dal fuoco.

Materiali per l'Ingegneria civile: materiali strutturali e materiali complementari.

Proprietà fisico-meccaniche dei materiali: processi di deformazione elastica e plastica, processi di frattura. Proprietà termiche. Proprietà elettriche. Metodi di prova e normativa.

Materiali metallici. Leghe Fe-C: ghise ed acciai. Trattamenti termici. Acciai da costruzione e speciali. Saldabilità. Leghe non ferrose per edilizia. Impieghi e normativa.

Leganti per edilizia: gesso, calci, cementi. Malte ordinarie e speciali. Calcestruzzi cementizi. Conglomerati speciali. Proprietà, tecnologia e criteri di posa in opera. Additivi per calcestruzzi. Normativa sui cementi, sugli aggregati, sui calcestruzzi freschi ed induriti.

Materiali ceramici e vetri per l'edilizia. Caratteristiche e normativa.

Materie plastiche, resine e materiali compositi impiegati nell'edilizia (impermeabilizzazione, isolamento termico ed acustico, sigillanti, etc.). Caratteristiche e normativa. Cenni al legno e materiali derivati impiegati in edilizia.

Acque, suolo ed ambiente. Degradazione e corrosione dei materiali da costruzione in servizio. Protezione e restauro. Compatibilità (fisica e chimica) tra i materiali.

Sicurezza nell'impiego dei materiali. Resistenza al fuoco. Criteri di scelta dei materiali per l'ingegneria civile. Normativa.

Esame orale.

Tesi di laurea

Sperimentali e compilative - Oggetto: proprietà e degradabilità dei materiali; processi tecnologici inerenti la produzione di materiali edili e di manufatti prefabbricati. In collaborazione con Docenti interessati agli argomenti predetti.

CORSI DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE ED ING. EDILE

Programmi delle materie di insegnamento del **triennio di applicazione.**

2006

ACQUEDOTTI E FOGNATURE (semestrale)

Docente: **Stefano Pilati** ricerc. (inc.)

Programma

Il posto di acquedotti e fognature nel quadro urbanistico: l'influsso del progetto idraulico su la statica e l'estetica delle opere civili.

Richiami, complementi ed applicazioni dell'Idraulica elementare con speciale riguardo ai significati energetici. Idrostatica. Moto permanente delle correnti in pressione, in «depressione» ed a pelo libero. Le curve caratteristiche degli impianti prementi ed a gravità. Il calcolo idraulico dei canali di fognatura; l'impiego delle tabelle e degli abachi.

Moto vario nelle condotte: le casse d'aria; il colpo di ariete nelle condotte «a tutta perdita». Calcolo delle reti. Criteri di massima economia ed applicazioni elementari di ricerca operativa.

Le pompe «centrifughe»; curve caratteristiche e loro significato energetico; progetto di massima delle macchine idrovore. Postazione delle pompe e disegno degli impianti. Gli altri mezzi di sollevamento dei liquidi. Pratica dei cataloghi. Collaudo.

Le piogge. Costruzione e significato delle linee segnalatrici di possibilità climatica; il tempo di ritorno. Stima delle portate bianche.

Fabbisogno ed approvvigionamento dell'acqua potabile: opere e manufatti di presa, adduzione, distribuzione. Serbatoi: schemi idraulici, posizioni, volumi di invaso. Durezza e dissalamento. Canali, reti, manufatti delle fognature. Calcolo statico delle condotte interrate. Impianti di potabilizzazione e di depurazione: schemi funzionali e disegno dei manufatti.

La politica ed il disegno dei grandi acquedotti consortili; l'alimentazione integrata da acque superficiali e di falda. L'inquinamento ed il risanamento delle acque; l'acqua per fini ricreativi e naturalistici; le leggi nazionali e regionali per la tutela del territorio.

Esercitazioni: Progetti di un acquedotto e di una rete di fognatura a servizio di piccoli insediamenti urbani. Seminari di tecnici specializzati. Visite ad impianti.

7434

ACUSTICA APPLICATA

Docente: Massimo Garai ricerc. (inc.)

Programma

1) Fondamenti

Acustica fisica — Oscillatore armonico con il formalismo complesso. Analogia elettrica. Equazione delle onde acustiche. Principali grandezze acustiche. Velocità del suono nei vari mezzi. Onde piane, sferiche, cilindriche. Sovrapposizione di campi sonori: onde stazionarie, battimenti, «anti-suono». Effetto Doppler. Fenomeni acustici ad un interfaccia (assorbimento, riflessione, trasmissione, diffusione).

Assorbimento acustico — Materiali e sistemi passivi fonoassorbenti: classificazione e progettazione. Assorbimento del suono nell'aria.

Livelli sonori decibel e spettri — Caratteristiche dei segnali sonori. Sala dei decibel. Introduzione all'analisi in frequenza. Spettri. Filtri d'ottava e di 1/n d'ottava. Curve di ponderazione. Metrica dei livelli sonori.

Acustica psicofisica — Valutazione delle sensazioni uditive. 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. Pareti doppie e pareti multistrato. Perdite d'isolamento dovute ad aperture. Trasmissione laterale.

Vibrazioni meccaniche — Fisica elementare delle vibrazioni. Risonanza. Concetto di trasmissibilità. Cenni al metodo SEA. Effetti e controllo delle vibrazioni dei macchinari.

2) Strumentazione

Microfoni di misura. Accelerometri. Amplificatori. Filtri. Fonometri. Analizzatori real time e FFT. Misuratori di intensità sonora. Registrazione e riproduzione digitale. Calibrazione e taratura. Leggi e norme tecniche.

3) Applicazioni

Acustica architettonica — Descrittori dell'intelligibilità del parlato. L'acustica dei teatri: cenni storici. L'opera di Beranek. I tempi di prima riverberazione. L'integrale di Schroeder. Le frazioni energetiche. Criteri per la sensazione spaziale. La teoria di Ando. La ricerca contemporanea.

Acustica edilizia — Requisiti acustici dei singoli componenti edilizi. Prestazioni acustiche dell'edificio nel suo insieme. 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. Apparatii 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. Divergenza geometrica. Atte-
nuazione dovuta all'atmosfera. Effetto del vento. Effetto dei gradienti di temperatura.
«Effetto suolo». Vegetazione. Ostacoli alla propagazione sonora. Progettazione di bar-
riere acustiche. Valutazione di impatto ambientale. Rumore da impianti industriali. Ru-
more da traffico stradale, ferroviario, aereo.

4) Procedure di misura

Acquisizione ed elaborazione di risposte all'impulso. Misure di tempo di riverbera-
zione. Misure di assorbimento acustico. Misure di intelligibilità. Tecniche binaurali di
misura. Misure di potere fonoisolante e di isolamento acustico. Misure di livello di rumore
di calpestio. Indici di valutazione. Misure di potenza sonora. Misure di vibrazioni. Leggi e
norme tecniche.

5) Modelli fisici e numerici

Vantaggi e limiti dei modelli fisici. Classificazione dei modelli fisici. Modelli acustici in
scala. Criteri di similitudine. Vantaggi e limiti dei modelli numerici. Sorgenti virtuali. Ray
tracing. Beam tracing. Confronto tra le varie tecniche. Auralizzazione.

Esercitazioni in laboratorio

Misure di tempo di riverberazione, di assorbimento acustico, di isolamento acustico.
Acquisizione ed analisi digitale di risposte all'impulso.

Introduzione all'utilizzo di modelli acustici in scala per l'assistenza alla progettazione
di grandi sale.

Utilizzo di modelli numerici per la simulazione dell'acustica degli ambienti chiusi su
personal computer. Esempi tratti da casi reali.

Utilizzo di modelli numerici per la previsione dell'impatto acustico ambientale del
traffico stradale.

Testi consigliati

A. COCCHI (a cura di), *Inquinamento da rumore*, 2^a ed., Maggioli Editore, Rimini (1990).

L.E. KINSLER, A.R. FREY, A.B. COPPENS, J.V. SANDERS, *Fundamental of acoustics*, 3rd
ed., John Wiley & Sons, New York (1982).

L.L. BERANEK, *Noise and vibration control, Revised Edition*, Institute of Noise Control
Engineering, Washington, DC (1988).

Verranno inoltre resi disponibili per la riproduzione i lucidi proiettati in aula.

Esami orali.

Tesi di laurea

A carattere teorico, a carattere sperimentale, a carattere numerico.

02

AERODINAMICADocente: **Giambattista Scarpi** prof. ord.

(v. Corso di laurea in Ingegneria meccanica).

11162

ANALISI COMPUTAZIONALE DELLE STRUTTUREDocente: **Agostino A. Cannarozzi** prof. ord. (inc.)

Il corso è una introduzione ai metodi di calcolo delle strutture orientati all'elaborazione automatica, con riguardo agli aspetti concettuali, formali e operativi di essi. Finalità specifica del corso 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 ad interpretarne criticamente i risultati. La conoscenza dei più comuni algoritmi dell'analisi numerica e la dimestichezza con il mezzo di calcolo, sono presupposti necessari per frequentare il corso con profitto. E' pertanto vivamente consigliato come propedeutico l'insegnamento di Calcolo numerico e Programmazione.

Programma

Richiami di algebra matriciale.

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, vincoli 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. La trave deformabile a flessione e a taglio.

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.

Modelli semialgebrici agli spostamenti per solidi e strutture assialsimmetriche e per lastre piane caricate nel piano o inflesse. Applicazioni.

Problemi di dinamica strutturale e di non-linearità geometrica: alcuni cenni.

Esercitazioni

Il Corso è integrato da esercitazioni al calcolatore 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 del corso vengono indicati articoli su riviste o capitoli di libri, utili per l'approfondimento di argomenti trattati. I principali libri consigliati sono:

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.

50

ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA

Docente: **Gianni Braghieri** prof. ord.

Programma

Tema

Progetto di architettura per la città storica.

Contenuto

Il corso 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.

Il corso 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.

Il corso 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 un tecnico 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 il corso 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 nella sua più vasta accezione anche se non si escludono altri temi, purché non presentino caratteristiche di eccessiva specializzazione.

Il corso 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 del corso 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 il corso 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.

Il corso 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 del corso che consisterà nel dare agli studenti la capacità critica di leggere il progetto di architettura. Per questa ragione 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 del corso 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», il corso prevede, in tempi alternati rispetto alle lezioni ed alle comunicazioni, un'analisi e discussione dei progetti elaborati dallo studente durante il corso 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.

Il corso 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.

Il corso 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 della città*, Club Milano.

A. LOOS, *Parole nel vuoto*, Adelphi Milano.

L. QUARONI, *Progettare un edificio*, Gangemi Milano.

Altri testi verranno consigliati durante il corso.

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.

3870

ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA II

Docente: **Giorgio Praderio** prof. ass.

Il corso completa la formazione del progettista generale dell'architettura: è dunque un corso che conduce lo studente a perfezionare l'approfondimento progettuale sino al controllo architettonico finale e agli sviluppi esecutivi.

Il programma parte dalle esperienze architettoniche contemporanee effettuate nelle città d'Europa, viste nelle diversità regionali e nei caratteri distintivi locali (critica agli stili internazionali).

Lo «sviluppo sostenibile» della città europea, con le sue parti riconoscibili (luoghi, reti, risorse, beni ed organismi edilizi), è considerato un riferimento primario.

La Città Progetto costituisce il metodo di lavoro prevalente: identità dei luoghi, tutela delle risorse, compatibilità ambientale, complessità del metodo, originalità delle soluzioni, integrazione dei contenuti, singolarità dei casi.

La qualità globale dell'organismo edilizio deve essere la conclusione del percorso progettuale: conoscenza della domanda abitativa (o produttiva, di attrezzature, ecc...), consapevolezza culturale, correttezza del linguaggio formale, coerenza della distribuzione degli spazi e dei percorsi, rapporti armonici a scala umana da rispettare, appropriatezza tecnologica e affidabilità dei materiali, risparmio energetico e sicurezza civile, contenimento dei costi e fattibilità ingegneristica.

Il progetto è perciò visto come procedura conoscitiva, intenzionale e decisionale, rivolta alla costruzione dello spazio umano, capace di avvalersi dei servizi di CAAD e delle procedure di EIA e EIS (laboratori di modellistica).

Il programma comporta esercitazioni tematiche individuali di architettura e prevede prove scritte in aula.

Viene fornita una bibliografia essenziale.

51

ARCHITETTURA TECNICA (per Civili)Docente: **Claudio Comani** prof. ass.

Disciplina a carattere applicativo fornisce la conoscenza e gli strumenti operativi per la progettazione esecutiva degli elementi tecnologico-costruttivi e per la definizione dei metodi di valutazione dei loro livelli di qualità, in rapporto ai requisiti prestazionali, ai principi di lavorazione dei materiali, ai criteri statico-costruttivi e ai processi di realizzazione.

Il Corso fornisce inoltre metodologie operative di progettazione di alcune classi di elementi tecnici applicati sperimentalmente su un progetto architettonico.

51

ARCHITETTURA TECNICA I (per Edili)Docente: **Fabio Selva** prof. ass.

Disciplina di base, a carattere tecnico-operativo, finalizzata all'acquisizione della conoscenza critico-analitica dei procedimenti costruttivi — e delle relative metodiche di progettazione — in rapporto alle loro tipologie, alle regole aggregative, alle tecnologie, all'evoluzione storica delle tecniche, anche con riferimento all'organizzazione del processo edile e all'inserimento del contesto costruito.

La disciplina tende ad individuare il comportamento d'insieme e il funzionamento delle diverse componenti tecnologiche nel quadro di una sintesi progettuale, rispondente alle condizioni di uno sviluppo sostenibile del contesto ambientale.

I temi inerenti la progettazione sviluppano una metodologia di approccio orientata allo studio delle relazioni tra architettura, tecnologia costruttiva e produzione, ponendo una particolare attenzione alle strumentazioni operative per il controllo della trasformazione del contesto costruito e produttivo.

Esercitazioni

Le esercitazioni forniscono elementi per un'analisi critica degli organismi edilizi e dei sistemi costruttivi, in specifici contesti costruiti, al fine dell'elaborazione progettuale.

L'elaborazione progettuale si articola, in relazione ai differenti indirizzi di studio, nell'individuazione degli strumenti operativi di supporto progettuale e normativo alle diverse scale (repertori delle soluzioni tipologico-costruttive degli elementi di fabbrica e degli elementi tecnici, e nella progettazione a scala architettonico-costruttiva (su organismi esistenti o di nuova realizzazione), con specifico approfondimento della componente tecnologica appropriata al contesto costruito di riferimento e secondo criteri bio-eco-compatibili.

Le attività previste si esplicano nell'ambito di progettazione a livello seminariale.

Riferimenti bibliografici

- E. MANDOLESI, *Edilizia*, UTET, Torino, 1978.
 A. PETRIGNANI, *Tecnologie dell'architettura*, Ed. Görlich, Milano, 1981.
 P.L. SPADOLINI (a cura di), *Design e tecnologia*, Ed. L. Parma, Bologna, 1981.
 M. ZAFFAGNINI (a cura di), *Progettare nel processo edilizio*, Ed. L. Parma, Bologna, 1981.
 F. NUTI, *Tipologie industrializzate e tipi edilizi per la residenza*, Ed. CLUEB, Bologna, 1984.
 G. CUPPINI (a cura di), *Riferimenti normativi per la progettazione ambientale*, Ed. CLUEB, Bologna, 1985.
 P. SELVA (a cura di), *Architettura nei contesti minori, Tipologia, Tecnologia, Linguaggio*, CUEC Ed., Cagliari, 1991.
 I. TAGLIAVENTI, *L'organismo architettonico*, Ed. CLUEB, Bologna, 1988.
 P. MARETTO, *Realtà naturale e realtà costruita*, UNIEDIT, Firenze, 1984.

51

ARCHITETTURA TECNICA II (Edili)Docente: **Adolfo Cesare Dell'Acqua** prof. ord.

Disciplina finalizzata alla valutazione dell'applicabilità dei procedimenti e dei sistemi costruttivi nella complessità del processo di progettazione; fattore caratterizzante è il rapporto tra tecnologia e tipologia edilizia, nelle sue componenti e con particolare attenzione alle correlazioni tra organizzazione costruttiva, impianto spaziale/distributivo e risoluzione formale, alle diverse scale di lettura e di progetto.

La tipologia viene considerata come fondamento disciplinare della architettura a livello di lettura critica e di applicazione della metodologia progettuale, nell'ambito dell'edilizia di base e della edilizia specialistica, con particolare riferimento alle loro mutue relazioni.

Il corso vuole inoltre evidenziare l'importanza che la componente tecnologico-costruttiva ha nella formazione del processo tipologico e nella definizione dei caratteri del luogo e dell'ambiente costruito.

Esercitazioni

Concernono il rapporto tra la lettura tipologica e la strutturazione del progetto, in relazione al contesto; si avvalgono di analisi e di elaborazioni in laboratorio progettuale.

Riferimenti bibliografici

- G. 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*, Alinea, Firenze, 1980.
 I. TAGLIAVENTI, *L'organismo architettonico*, Vol. I, Ed. CLUEB, Bologna, 1988.
 E. MANDOLESI, *Edilizia*, UTET, Torino, 1978.
 A. PETRIGNANI, *Tecnologie dell'architettura*, Ed. Görlich, Milano, 1981.

10006

CARATTERI DISTRIBUTIVI E COSTRUTTIVI DEGLI EDIFICI (Civili)

Docente: Luisella Gelsomino prof. ass.

Programma

Il Corso, avendo come obiettivo primario quello di fare acquisire agli studenti principi metodologici per la progettazione di spazi architettonici, fornisce strumenti critici per la valutazione del costruito e per la prefigurazione dell'intervento.

L'attenzione progettuale è rivolta all'edificio ma ha come riferimento costante il quadro urbano, nella convinzione che il momento progettuale debba sottendere sempre prefigurazioni di disegno urbano globale.

Il programma del Corso tende a far verificare allo studente come ogni scelta edilizia possa concorrere alla costruzione di strategie alla scala urbana.

Il taglio è quello analitico, critico e informativo, sempre finalizzato all'intervento edilizio. L'atteggiamento progettuale motiva e sostanzia i diversi argomenti di riflessione critica in cui si articola il programma.

Lezioni, seminari, esercitazioni sono gli strumenti attraverso i quali si attua l'obiettivo formativo prefigurato.

*Argomenti delle lezioni***1. Principi e criteri di progettazione edilizia**

Architettura e contesto urbano. Lettura progettuale dell'ambiente costruito e degli spazi urbani. L'individuazione delle linee di struttura (analisi e progetto). Le preesistenze come risorse. I vuoti urbani: scelte progettuali per il recupero o la sostituzione.

2. Le scale di intervento

Problemi e soluzioni progettuali in ordine alle scale di intervento (unità insediativa - organismo edilizio - cellula elementare). Fattori di qualità del progetto. Le variabili della progettazione.

3. La tipologia come metodo di prefigurazione progettuale

I criteri di riduzione tipologica. Come riconoscere e classificare i tipi edilizi. Rapporti fra tipo edilizio e morfologia urbana. Il modello tipologico. Le logiche aggregative.

4. Complessi insediativi residenziali e quartieri d'abitazione

Analisi delle caratteristiche di casi significativi in relazione ai provvedimenti legislativi, alle norme ed ai tipi adottati, alla qualità degli interventi.

5. Lo spazio ufficio, lo spazio per il commercio, lo spazio per l'istruzione: riferimenti essenziali

Principi progettuali e norme. Schemi distributivi. Casi di studio.

6. Strumenti e regole della progettazione

Sistemi di organizzazione dei problemi progettuali (modelli, fasce, aggregazioni). Requisiti e prestazioni. Normative dimensionali e normative prestazionali.

7. *L'edificio come sistema: caratteri costruttivi*

Scomposizione in parti. Soluzioni tecniche, tecnologie e materiali. Principali riferimenti normativi su componenti e materiali. Principi di bioarchitettura. Il controllo della qualità.

8. *Leggi e norme per la residenza*

I provvedimenti legislativi per la casa in Italia dalla Luzzati (1903) alla Botta-Ferrarini (1992).

La prevenzione incendi. Il risparmio energetico. Le barriere architettoniche.

Esercitazioni

Progettazione di edificio residenziale

Fase 1 - Normative dimensionali e normative prestazionali

- 1.1 Le regole per la progettazione di U.A. proprie della residenza.
- 1.2 Il dimensionamento delle U.A.
- 1.3 Scelta dell'informazione tecnica su componenti e normative di riferimento (redazione di una relazione).

Fase 2 - Analisi progettualmente orientate

- 2.1 Scelta di uno schema applicativo.
- 2.2 Sperimentazione analitica su alcuni casi significativi.
- 2.3 Il progetto: - localizzazione del lotto in rapporto all'insediamento urbano e rispetto al sistema di viabilità, rete dei servizi, sistema del verde, ecc. (scelte alla scala dell'U.I.); - scelte progettuali relativamente al O.E. (accessibilità, reti, aggregazione degli alloggi, ecc.); - abato dei tipi e dei tagli.

Fase 3 - Varianti progettuali da sviluppare individualmente

- 3.1 Accessibilità, adattabilità e visitabilità (applicazione della Legge 13).
- 3.2 Caratteristiche per la residenzialità degli anziani.
- 3.3 Flessibilità d'uso e varianti distributive e dimensionali degli alloggi. Verifica delle trasformazioni compatibili: ampliamenti, sopraelevazioni, diradamenti. Modifica delle destinazioni d'uso.
- 3.4 Alternative strutturali e/o dell'intero sistema costruttivo.
- 3.5 Applicazione dei principi della bioedilizia.

Nota

La bibliografia di riferimento è disponibile presso la biblioteca dell'Istituto di Architettura e Urbanistica.

10006

CARATTERI DISTRIBUTIVI E COSTRUTTIVI DEGLI EDIFICI (Edili)Docente: **Adolfo Cesare Dell'Acqua** prof. ord.*Finalità del corso*

Il corso si propone di fornire le informazioni culturali di base e degli strumenti metodologici e operativi per la conoscenza dei caratteri degli organismi edilizi e architettonici, che appartengono a specifici contesti costruiti.

Questi caratteri, derivati attraverso un procedimento di lettura dal vero dei tipi edilizi, vengono considerati, in un'impostazione storico-critica, come insieme delle diverse componenti che, a livello formale, spaziale-distributivo, tecnico-costruttivo, connotano gli organismi individuati alle successive scale del costruito.

Il corso è quindi orientato, da un lato, all'individuazione delle valenze insite nello sviluppo dei processi tipologici, dall'altra alla successiva elaborazione di criteri e soluzioni progettuali negli interventi su una definita realtà ambientale.

Programma del Corso

In rapporto ai presupposti di metodo sopra richiamati, la materia del corso si articola nei seguenti argomenti:

I — Caratteri del costruito: concetto di *organismo* alle diverse scale; principi di continuità, gradualità, permanenza e trasformazione nei processi formativi degli organismi insediativi.

II — Il rapporto *lettura/progetto*.

Metodologia di lettura nell'edilizia di base. Cicli storici e processi tipologici; rapporti tra tipologia e analisi del luogo naturale e costruito; correlazione tra i caratteri individuati nella lettura graduale alle successive scale di strutturazione del territorio; struttura dei percorsi e degli organismi spaziali; sintesi dei caratteri nei tipi ambientali.

La progettazione nell'edilizia di base. Correlazione tra funzioni e componenti progettuali, tecniche e compositive.

Le componenti alla scala dell'edificio: materiali; struttura costruttiva; impianto spaziale-distributivo; struttura formale e organismo architettonico.

Riferimenti all'edilizia specialistica. Analisi delle esigenze e criteri di progettazione in alcuni esempi di edilizia per attività terziarie e di servizio.

III — *Fasi e strumenti operativi nella progettazione.* Metodi di progettazione sistematica a livello ambientale e tecnologico.

Definizione di funzioni-attività, individuazione dei relativi ambiti spaziali e dei loro modelli organizzativi; definizione dei requisiti funzionali di prestazione, individuazione degli elementi tecnici e organizzazione nel sistema costruttivo.

Processo di progettazione in rapporto agli *aspetti normativi*. Riferimenti alla normativa di attuazione degli strumenti di pianificazione urbanistica e dei regolamenti edilizi; rapporti fra normativa tecnica (a livello ambientale e tecnologico) e regole tipologiche.

Esercitazioni

Le esercitazioni costituiscono parte integrante dell'iter formativo del corso e sviluppano, a livello applicativo, i presupposti teorici e i riferimenti di metodo esposti nelle lezioni; come momento di incontro e confronto a livello seminariale si avvalgono di specifici contributi, esperienze progettuali e comunicazioni esterne.

I temi di esercitazioni consistono in un'esperienza di lettura su un definito contesto costruito (preferibilmente nell'ambito di organismi urbani individuati nel territorio regionale), nel confronto degli elementi dedotti dalla lettura con criteri di intervento nell'area di studio e nella successiva elaborazione di soluzioni progettuali.

Riferimenti bibliografici

- R. BOLLATI, S. BOLLATI, G. LONETTI, *L'organismo architettonico*, Alinea, Firenze, 1980.
 P. MARETTO, *Realtà naturale e realtà costruita*, Uniedit, Firenze, 1984.
 G. CANIGLIA, G.L. MAFFEI, *Composizione architettonica e tipologia edilizia*, Vol. I: *La lettura dell'edilizia di base*, Vol. II: *Il progetto nell'edilizia di base*, Marsilio ed., Venezia, 1987.
 G. CATALDI, *Lezioni di architettura*, Uniedit, Firenze, 1981.
 A. ROSSI, *L'architettura della città*, Clup, Milano, 1987.
 AA.VVV. (coord. G. TREBBI), *Housing in Europa*, I e II parte, Ed. L. Parma, Bologna, 1978-1982.
 L. QUARONI, *Progettare un edificio. Otto lezioni di architettura*, Mazzotta ed., Milano, 1977.

2009

COMPLEMENTI DI TECNICA URBANISTICA

Docente: **Silvano Casini** prof. ass.

Il Corso è destinato agli studenti che, al V anno, intendono proseguire nell'approfondimento dei temi riguardanti il territorio, già svolti o presentati nell'ambito dei corsi di *Tecnica urbanistica*, e si pone per oggetto alcune *problematiche* fondamentali, da sviluppare su *livelli* diversi ma strettamente correlati, in base all'attualità dei problemi e alla complessità ed estensione della materia.

1. *Le strutture del territorio*, negli aspetti più significativi sia dal punto di vista settoriale che insediativo. La metodologia d'indagine si fonda sull'individuazione di indicatori qualitativi e quantitativi che consentano di mettere a fuoco i caratteri specifici diretti e indiretti, determinanti il modo di essere delle varie strutture.

2. *L'organizzazione del territorio*, attraverso l'esame dei livelli di utenza e di gestione, dell'impiego delle risorse, delle politiche di settore, del grado di interdipendenza settoriale

conseguente al quadro economico e sociale. L'intento è di evidenziare i momenti e i meccanismi di squilibrio per pervenire, in positivo, all'individuazione di un assetto territoriale equilibrato puntando sulla massima partecipazione dell'utenza alle scelte, su un livello di utilizzazione delle risorse e dei patrimoni, sul superamento delle politiche strettamente di settore in una visione complessiva dei problemi.

3. *Un livello*, a cui si fa riferimento nello sviluppare le problematiche su esposte, attiene alle *teorie*, discipline e tecniche che rappresentano le articolazioni significative dell'approccio complessivo al discorso del territorio, quali l'economia urbana e regionale, la programmazione economica e territoriale, la pianificazione e gestione, le strutture ambientali, etc.

4. *Un secondo livello* è rappresentato dagli aspetti propriamente metodologici, dagli *strumenti* conoscitivi ed operativi, dalle *tecniche* di analisi e di misura necessari per operare nell'ambito urbano e territoriale.

Programma

Il Corso si articola in fasi distinte.

I fase

Analisi delle realtà territoriali, attraverso l'esame delle caratteristiche della struttura demografica occupazionale, produttiva, della gerarchia urbana e territoriale, dei caratteri ambientali, delle ipotesi di crescita, delle modalità di gestione, etc.

II fase

Analisi sistematica dei diversi aspetti settoriali, in riferimento ad ipotesi di crescita socio-economica e di articolazione organizzativa. Si sottopongono ad esame, attraverso esempi di realtà concrete, i modi in cui un'attività produttiva o di servizio si esplica a seconda delle caratteristiche economiche, sociali e ambientali dell'ambito territoriale interessato.

1. Le attività produttive e di servizio come fattori di strutturazione del territorio. 2. L'agricoltura. 3. L'industria. 4. L'artigianato. 5. I servizi. 6. Aspetti di interazione tra attività produttive, residenza e servizi.

III fase

Si tende a *riconduurre in termini complessi le problematiche sviluppate in precedenza*.

Il Corso è integrato da *esercitazioni*, esempi pratici e seminari intergruppo.

L'*esame* consiste in un colloquio nel quale lo studente presenterà il lavoro svolto individualmente o in gruppo nel corso delle esercitazioni. Egli dovrà inoltre trattare gli argomenti che gli saranno proposti, attinenti al lavoro delle esercitazioni, i contenuti del Corso svolti nelle lezioni e specifiche parti della bibliografia consigliata.

(Per maggiori dettagli e la bibliografia consigliata, v. l'opuscolo «Programmi di insegnamento» dell'Istituto di Architettura e Urbanistica).

4125

CONSOLIDAMENTO DEI TERRENIDocente: **Albino Lembo Fazio** prof. ass.*Programma*

Scopi del consolidamento dei terreni. Caratteristiche del terreno più influenti sul consolidamento. Rassegna dei principali tipi di consolidamento dei terreni a seconda del campo d'azione. Le iniezioni: il moto delle miscele all'interno dell'ammasso terroso e delle rocce fessurate, la penetrabilità, la stabilità, il tempo, la temperatura, i sali del materiale iniettato, la durezza, il claquage, la pressione di iniezione, la tecnica, la sicurezza, le disposizioni esecutive. I vari tipi di miscele. La presa, la gelificazione, gli elettroliti, i vari tipi di resine. Campi di applicabilità delle varie miscele. I sistemi di iniezione. I vari casi di impiego. Consolidamento meccanico statico: precarico, pali in sabbia, teoria e metodi, prova edometrica. Consolidamento meccanico dinamico; rulli, magli, pali battuti, teoria e metodi. Vibroflottazione. Consolidamento con mezzi termici. Consolidamento elettrosmotico. Studio della stabilità delle scarpate. Frane: classifica, superfici di scorrimento, velocità di traslazione, ricerca dell'equilibrio. Causa di instabilità, vari tipi di acque. Equazioni di equilibrio, abaco di Taylor. Opere di difesa, movimento di masse, drenaggi, opere di difesa al piede, esempi. Consolidamento di scarpate in roccia: bullonature semplici e precomprese, verifica di stabilità, dimensionamento delle opere di difesa.

*Testi consigliati*CAMBEFORT, *Iniection des sols*.COLOMBO, *Geotecnica*.

198

COSTRUZIONE DI PONTIDocente: **Maurizio Merli** prof. ass.*Programma*

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, iperstatiche, 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). Cenno 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.P. PETRANGELI, *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.

Costruzione di Strade, Ferrovie ed AeroportiDocente: **Alberto Bucchi** prof. ord. (Civili)*Programma*

Problematiche di progettazione delle Infrastrutture Viarie. Strade, Ferrovie, Aeroporti. Classifica delle strade. Enti gestori delle infrastrutture viarie. Veicoli circolanti, sinistrosità. Ripartizione modale del traffico.

Traffico. Indici di traffico. Portata stradale. Velocità. Relazioni fra portata, densità, velocità. Indagini di traffico.

Progetto della sezione stradale. Assegnazione del traffico alla rete. Livelli di servizio. Autostrade. Strade a due corsie. Elementi di riduzione della capacità. Verifica della sezione. Normativa CNR n° 78 e n° 60.

Il progetto stradale. Normativa CNR n° 77. Le fasi del progetto. Cartografia. Tracciamento; Rettifica. Profilo. Sezioni. Opere d'arte.

Equazione del moto. Resistenze in rettilineo e orizzontale, per pendenza, per forze d'inerzia, per curve. Determinazione della pendenza massima.

Curve. Raggio minimo. Pendenza trasversale. Norme CNR. Allargamento. Viabilità. Raccordi planimetrici. Raccordi altimetrici. Tracciamento delle curve.

Geometria del solido stradale. Calcolo dei volumi. Costo del trasporto. Compenso longitudinale e trasversale. Diagramma di Bruckner.

Il Corpo stradale. Classifica delle terre. Prove sulle terre in laboratorio ed in sito. Piano di posa dei rilevati. Rilevati. Piano di posa delle trincee. Trincee. Compattazione. Macchine stradali. Geotecnica stradale. Compressibilità. Resistenza al taglio. Indagini in sito. Stabilità delle scarpate. Opere di consolidamento.

Spinta delle terre. Equilibrio delle terre. Coulomb. Rankine. Spinta attiva e passiva. Costruzione di Poncelet. Casi particolari. Metodo di Resal. Metodo di Culmann. Muri di sostegno. Verifiche di stabilità. Muri e gravità. Muri in c.a. a elle ed a costoloni. Opere complementari. Muri a tiranti. Terra armata. Muri ad elementi. Terra rinforzata.

Gallerie. Sezioni. Dimensionamento. Classifica rocce. Carichi agenti e parametri geometrici. Calcolo rivestimento. Sostegni. Fasi esecutive. Sistemi tradizionali. Metodo NATM. Metodo Belga, Austriaco, Scudo.

Ferrovie. Sovrastruttura: elementi compositivi e materiali. Scartamento. Rotaie. Apparecchi del binario. Stazioni.

Aeroporti. Tipi di aereo. Ubicazione. Elementi dell'area aeroportuale. Lunghezza piste di volo. Classifica aeroporti. Orientamento delle piste. Spazi liberi attorno alle piste.

Sovrastrutture stradali. Tipologie. Strati superficiali. Strati di base. Strati di fondazione. Pavimentazioni rigide. Trattamenti superficiali. Reologia dei conglomerati bituminosi. Controlli sulle pavimentazioni. Prove sui materiali stradali. Calcolo delle sovrastrutture. Metodi semiempirici: CBR, Road Note 29, AASHO. Metodi razionali. Catalogo delle sovrastrutture. Calcolo delle sovrastrutture rigide.

Testi consigliati:

G. TESORIERE, *Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti.*

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 pratico — applicativo nella progettazione esecutiva di un tronco stradale e nella valutazione del suo costo.

5603

Costruzioni di strade, ferrovie ed aeroporti II

Docente: **Giulio Dondi** ricerc. (inc.)

Programma

— Il traffico. Le statistiche. I flussi orari. La curva di distribuzione dei flussi orari. La curva delle percentuali di velocità. Vari tipi di velocità. Capacità. Capacità massima e minima. Capacità possibile. Livelli di servizio. Il progetto della sezione stradale. Studio della redditività delle infrastrutture stradali: tempi di percorrenza, consumo di carburante, lubrificanti, pneumatici, manutenzione, costi attualizzati, benefici attualizzati, analisi costi-benefici.

— La costruzione dei rilevati e delle trincee. Stabilità del piano di posa: carichi di rottura e di plasticità. Cedimenti. Stabilità delle scarpate. Consolidamento dei piani di posa e delle scarpate. Problemi di addensamento. Prove Proctor e CBR. Il cantiere stradale. I mezzi di costipamento. I mezzi di scavo e trasporto. Il controllo della densità.

— I sottofondi stradali. Definizione della portanza. Prova di carico con piastra: a ciclo unico ed a cicli ripetuti. Metodo HRB. Metodo Maresca, Metodo CBR e FAA. Determinazione di K e M_e .

— Le sovrastrutture stradali. I tipi tradizionali. I tipi moderni. Strati di fondazione, di base, di collegamento e di usura. Inerti granulari, stabilizzati, misti cementati, stabilizzazione a calce, a cemento. Progettazione dei conglomerati bituminosi. Prove Marshall: di bitume, granulometria, indice dei vuoti, filler. Reologia dei conglomerati bituminosi: prove dinamiche, prove di creep, modulo complesso, influenza della temperatura e della frequenza. Progettazione dei conglomerati cementizi: % di cemento, inerti, acqua. Resistenza, confezione, posa. Giunti.

— Calcolo delle sovrastrutture stradali. Sistemi di controllo: deflettometro, trave di Benkelmann. Vita utile. Previsione dei carichi. Fattori di equivalenza. Metodi teorici. Metodi semiempirici: Goldback, CBR, IG, Road Note 29, Prova AASHO (PSI, I_s). Metodi

razionali: Burmister, Jeuffroy e Bachelez. Acum e Fox, Ivanov, Bisar. Cataloghi. Pavimentazioni cementizie: Westergaard, Burmister-Peltier, Hogg. Influenza della temperatura: variazioni stagionali, variazioni giornaliere.

— Aeroporti. Scelta dell'ubicazione. Lunghezza e larghezza delle piste di volo. Determinazione dell'orientamento. Piazzali. Segnaletica. Calcolo della sovrastruttura. Prove di carico. Zone critiche. Gambe di forza. Carico equivalente su ruota singola. Numero LCN dell'aeroporto e dell'aereo. Calcolo delle sovrastrutture flessibili e rigide.

— Intersezioni. I punti di conflitto: principali e secondari. Le intersezioni a livello. Canalizzazioni. Corsie di accelerazione e decelerazione. Esempi di intersezioni a livello. Le intersezioni a livelli separati. Esempi di trombetta e di quadrifoglio. Le autostrade: il tipo chiuso ed il tipo aperto, le stazioni a barriera e di allacciamento, la viabilità autostradale in Italia.

— Le gallerie. Le tecniche moderne di scavo. Impianti di ventilazione. Calcolo del rivestimento. Problemi particolari. Consolidamento.

— Le ferrovie. L'armamento ferroviario. Sovrastrutture ferroviarie. La rotaia, le traversine, il ballast. Le stazioni. Gli svincoli.

Testi consigliati:

G. TESORIERE, *Costruzioni di Strade, Ferrovie ed Aeroporti.*

F. GIANNINI e P. FERRARI, *Costruzioni stradali e ferroviarie.*

206

COSTRUZIONI IDRAULICHE

Docente: **Armando Brath** prof. straord.

Programma

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 elaborazione 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 corrivazione, 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 potabili. 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. Sistemi 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 udometrici. 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 precipugamento. 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 udometrico. 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).

Tesi di laurea, disponibili sia applicative che di ricerca.

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. BRATTA, *Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali*, Bios, Cosenza.

A. PAOLETTI, *Sistemi di fognature e di drenaggio urbane*, Edizioni CUSL, Milano.

11704

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA

Docente: **Pier Paolo Diotallevi** prof. straord. (inc.)

Programma

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 sismica 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 il corso viene richiesto il progetto di alcune ricorrenti strutture in zona sismica.

2424

COSTRUZIONI MARITTIMEDocente: **Stefano Pilati** ass. ord. (inc.)*Programma*

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; segnalazioni 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 idroviarie. 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.

12394

COSTRUZIONI IN ACCIAIO (sem.)

Docente: **Giuseppe Matildi** prof. ass.

Finalità del corso: 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

— Richiami delle questioni fondamentali.

— Integrazioni concernenti il calcolo delle strutture metalliche.

— Criteri di controvenamento.

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. MALTILDI, M. MELE, *Impalcato 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.

6200

DINAMICA DELLE STRUTTURE

Docente: **Erasmus Viola**, prof. ord.

Programma

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. Equazioni del moto e studio delle oscillazioni libere e forzate, con e senza smorzamento. Determinazione sperimentale del fattore di smorzamento. Integrale di Duhamel. Isolamento dalle vibrazioni. Energia dissipata.

Dinamica dei sistemi discreti a più gradi 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 vibrazione. 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 di 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. Applicazione 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.

275

ELETTROTECNICA (sem.)

Docenti: **Fiorenzo Filippetti** prof. ass. (Civili, Ambiente A-K)

Riccardo Miglio prof. ass. (Civili, Ambiente L-Z)

Il corso 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.

Il corso, infine, intende far acquisire agli allievi le conoscenze fondamentali sulla sicurezza elettrica.

Programma

Circuiti elettrici lineari a parametri concentrati in regime stazionario. Reti elettriche in regime variabile quasi-stazionario. Cenni ai 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 e non 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. Autotrasformatore. Parallelo dei trasformatori.

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 trasferimento.

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. Funzionamento a vuoto e a carico.

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 alle 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 dei docenti.

R. MIGLIO, *Circuiti elettrici in corrente continua*, Progetto Leonardo, Bologna.

R. MIGLIO, *Trasformatori monofasi, trifasi e speciali*, Ed. Pàtron, Bologna.

R. MIGLIO, *Circuiti elettrici in regime variabile*, Progetto Leonardo, Bologna.

R. MIGLIO, *Macchine elettriche rotanti*, Progetto Leonardo, Bologna.

F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, Ed. Pitagora, Bologna.

F. ILICETO, *Lezioni di Elettrotecnica*, vol. III, *Elementi di Impianti elettrici*, Ed. La Goliardica, Roma.

430

FISICA TECNICA (per Civili e Ambiente)

Docente: **Alessandro Cocchi** prof. ord.

Il corso vuole fornire le conoscenze propedeutiche necessarie alle successive applicazioni della termodinamica, della fluidodinamica, dello scambio termico.

Programma

Sistemi di unità di misura, grandezze fondamentali e fattori di conversione.

Termodinamica applicata: generalità, sistemi aperti e chiusi, I e II principio della termodinamica e loro significato ingegneristico. Sistemi chimicamente omogenei, vapori saturi e surriscaldati, gas perfetti, gas reali. Sistemi a più componenti non reagenti, in fase gassosa: miscele di gas perfetti, miscele d'aria e vapor d'acqua. Diagrammi termodinamici. Teoria elementare delle motrici termiche e delle macchine frigorifere.

Fluidodinamica: principi generali, moto dei fluidi in condotti, perdite di carico.

Trasmissione del calore e termocinetica: equazioni differenziali e integrali del trasporto di quantità di moto e di calore. Conduzione, convezione, irraggiamento. Contemporanea presenza delle diverse modalità di scambio termico. Applicazioni. Cenni sulla legislazione

per il contenimento dei consumi energetici in edilizia e sull'utilizzazione di fonti di energia rinnovabili, in particolare solare. Problemi di termoigrometria applicata all'edilizia.

Elementi di acustica tecnica.

Testi consigliati:

A. COCCHI, *Termofisica per Ingegneri*, Ed. Petroni, Bologna, 1974.

A. GIULIANINI, *Fondamenti di Fisica Tecnica*, vol. I e II, ed. Patron, Bologna, 1976.

A. GIULIANINI, A. COCCHI, *Elementi di Acustica Applicata*, ed. Petroni, Bologna, 1973.

A. GIULIANINI, *Esercizi di Fisica Tecnica*, vol. I, ed. Patron, Bologna, 1976.

AA.VV., *Esercizi di Fisica Tecnica*, n. 1-11, ed. Petroni, Bologna, 1975- 1982.

Esami orali, su temi distinti, relativi al programma in corso. I temi possono essere di carattere sia strettamente teorico che applicativo.

Tesi di laurea fondamentalmente indirizzate su problemi di ricerca interessanti risparmi energetici, utilizzazione «attiva e passiva» dell'energia solare, problematiche fisico-tecniche nell'edilizia e negli impianti tecnologici. Si assegnano anche Tesi di Laurea applicative interdisciplinari con i corsi di Architettura Tecnica, Architettura e Composizione architettonica e Impianti tecnici civili.

1656

FOTOGRAMMETRIA (Civili, Ambiente)

Docente: **Gabriele Bitelli** ricerc. (inc.)

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-tridimensionali e trasformazioni tra di essi. Tipi di proiezione geometrica. La trasformazione proiettiva: sviluppo degli strumenti matematici di base.

Il fotogramma verticale: deduzione degli elementi principali della presa fotogrammetrica, errori in gioco. Il fotogramma inclinato. Il caso normale nella restituzione stereoscopica, errori in gioco.

Stereoscopia e sensibilità stereoscopica. La fotointerpretazione per l'analisi qualitativa e quantitativa di fotogrammi aerei.

Camere metriche e semimetriche; taratura e relativa certificazione.

Le emulsioni fotografiche. Note di tecnica fotografica e di teoria dei colori.

Voli fotogrammetrici: il progetto del volo e la sua esecuzione. Dispositivi antitrascinamento. Utilizzo del sistema GPS in fotogrammetria aerea. Effetti e correzione per la rifrazione atmosferica e la 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. Gli organi fondamentali di un restitutore analitico.

Il problema dell'appoggio. La triangolazione fotogrammetrica: per concatenamento, a modelli indipendenti, per fasci proiettivi.

Il raddrizzamento per oggetti piani. Il raddrizzamento differenziale per oggetti tridimensionali: ortofotoproiezione analogica ed analitica. Modelli digitali del terreno (DTM).

Cartografia numerica fotogrammetrica e suo impiego all'interno dei sistemi informativi territoriali (GIS).

Produttività del metodo fotogrammetrico. Capitolati d'appalto e collaudi in corso d'opera per la formazione di cartografia fotogrammetrica numerica.

La fotogrammetria dei vicini. Camere, metodologie di presa e restituzione per l'architettura e per applicazioni ingegneristiche ed industriali. Metodi semplificati di restituzione in monoscopia.

La fotogrammetria digitale: il dato raster (tecniche e strumenti di acquisizione, risoluzione geometrica e radiometrica, integrazione con altri dati), strumenti e tecniche di elaborazione. L'automazione nel processo fotogrammetrico.

Le immagini multispettrali. Cenni sul telerilevamento e sul suo utilizzo all'interno dei sistemi GIS.

Testi consigliati:

K. KRAUS, *Fotogrammetria*, Vol. 1, ed. Levrotto e Bella, Torino, 1994.

A. SELVINI, *Elementi di Fotogrammetria*, ed. Città Studi, Milano, 1994.

464

GEOLOGIA (semestrale) (per Civili)

Docente: **Giulio Cesare Carloni** prof. ord.

Finalità del corso: introdurre gli studenti del corso di laurea di Ingegneria Civile alle conoscenze necessarie delle discipline geologiche per una trattazione più generale delle applicazioni pratiche nel settore specifico, nonché per superare le principali difficoltà in cui possano venirsi a trovare i progettisti e gli esecutori di opere ingegneristiche, facilitando infine il più possibile la collaborazione interdisciplinare tra geologo ed ingegnere, geotecnico e geomorfologo, ingegnere idraulico ed idrogeologo.

Programma

Introduzione: le Scienze della Terra e le altre discipline. Campi di applicazione della Geologia.

Litologia. Minerali e rocce — Generalità sui processi genetici delle rocce — Composizione dell'interno terrestre con particolare riguardo alla Litosfera — Informazioni dai terremoti e dalle prospezioni geofisiche — Plutonismo e vulcanesimo — Usi ed applicazioni dei materiali litoidi.

Geologia applicata. Carte topografiche e carte geologiche — Cenni sui rilievi geologici — Generalità sulla stratigrafia e la tettonica — Sismologia — Progetto geodinamica e rischio sismico — Dissesti idrogeologici con particolare riguardo alle frane ed ai movimenti franosi (classificazione, meccanismi e primi interventi) — Aspetti geomorfologici della frana del Vajont e geologia delle dighe — Elementi di idrogeologia: ciclo dell'acqua, sorgenti ed acque sotterranee; falde acquifere e strutture idrogeologiche: risorse idropotabili ed uso plurimo delle acque — Subsidenza e difesa delle coste — Geologia delle strade: scelta del tracciato e problemi geologici relativi (Autostrada del Sole) — Geologia delle fondazioni e delle gallerie — Territorio ed ambiente urbano-industriale.

L'esame consta di due parti distinte: una pratica che verte sul riconoscimento delle rocce ed un'altra tecnico-teorica sulla lettura delle carte geologiche e le implicazioni che ne derivano, che si accompagna ad una trattazione dei principali problemi di Geologia applicata all'Ingegneria. Sono previsti viaggi di istruzione ed esercitazioni pratiche di laboratorio e sul terreno.

Testi consigliati:

CARLONI G.C., *Litologia e Geologia*, ed. Pitagora.

TREVISAN L., GIGLIA G., *Introduzione alla geologia*, Pacini editore..

AUTORI VARI, *Geologia tecnica*, ed. I.S.E.D.I.

AUTORI VARI, *La dinamica della Terra*, Letture da «Le Scienze», ed. Mondadori.

D.E. ALEXANDER, *Calamità naturali*, ed. Pitagora.

2007

GEOTECNICA (per Civili, Edili - Ambiente e Territorio)

Docente: **Pier Vincenzo Righi** prof. ord.

Il corso si articola in due parti:

- la prima può costituire un corso semestrale a se stante
- entrambe costituiscono il corso annuale.

Finalità della prima parte: 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 civili.

Programma

Prima parte

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* - Prova di carico con piastra - Prova penetrometrica (penetrometro statico e penetrometro dinamico) - Vane test campale - Prova di densità con apparecchio a radioisotopi. 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 Boussinesque - Teoria di Frölich - Vari tipi di rappresentazione grafica - Superfici di carico e rigidità nulla e a rigidità infinita - Metodi approssimati. 7) Formula di *stabilità* - Carico critico - Teoria di Frölich - Carico di rottura - Teorie di Rankine - Ritter - Prandtl - Caquot - Terzaghi. 8) *Applicazioni* pratiche delle teorie svolte.

Seconda parte

— Approfondimento sulle teorie concernenti il carico di rottura sotto fondazioni superficiali.

— Approfondimenti sulla deformabilità dei terreni.

— Metodi per diminuire gli abbassamenti per compressibilità: precarichi, abbassamento di falda.

— Spinta delle terre sulle opere di sostegno; spinta attiva e resistenza passiva; teorie di Coulomb e Rankine; costruzioni grafiche.

— Stabilità delle scarpate: Teoria del Taylor, del Fellnius e verifica a blocchi. Percorsi di tensione nel terreno interessato da lavori di sterro o di riporto.

— 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 della costruzione di un rilevato su un pendio. Effetti dello scavo di una trincea su un pendio. Percorsi di tensione relativi.

— 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, *Elementi di Geotecnica*.

C. CESTELLI GUIDI, *Geotecnica e tecnica delle fondazioni*.

TERZAGHI-PECK, *Geotecnica*.

R. LANCELOTTA, *Geotecnica*.

Propedeuticità consigliata: Scienza delle costruzioni.

Esami orali.

Tesi di Laurea

Indirizzo pratico applicativo riguardante la scelta ed il dimensionamento delle fondazioni in relazione alle caratteristiche meccaniche del suolo di appoggio.

1724

GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE

Docente: **Massimo Ferraresi** ricerc. (inc.)

Programma

- Obiettivi e criteri della pianificazione delle risorse idriche.
- Valutazione delle risorse idriche: acque superficiali, acque sotterranee, fonti non convenzionali.
- Regionalizzazione delle grandezze idrologiche.
- Stima della domanda d'acqua.
- I vincoli all'uso delle acque imposti dalle caratteristiche qualitative.
- Interconnessioni funzionali e infrastrutturali degli schemi di utilizzazione della risorsa.
- Allocazione ottimale delle disponibilità idriche attraverso i metodi della programmazione matematica:
 - a) la teoria dei moltiplicatori di Lagrange e sue applicazioni;
 - b) la teoria della Programmazione Dinamica e sue applicazioni;
 - c) la teoria della Programmazione Lineare (a variabili continue, intere e miste) e sue applicazioni.
- La simulazione stocastica.
- La pianificazione delle risorse idriche in condizioni di incertezza.

490

IDRAULICA (per Civili, Edili, Ambiente)

Docenti: **Gianni Luigi Bragadin** prof. ord. (Civili, Ambiente)

Antonello Rubatta prof. ord. (Edili, Nucleari)

Programma

Unità di misura, omogeneità, teorema π . Densità e velocità. Schemi di materiale continuo. Equazioni cardinali del moto e di continuità.

Equazioni globali e puntuali della statica. Legge di Stevin e legge di Archimede. Misure di pressione nei fluidi, azione dei liquidi sopra superfici in quiete, corpi galleggianti.

Tensore degli sforzi e tensore delle velocità di deformazione. Equazioni costitutive. Fluidi newtoniani e non newtoniani.

L'accelerazione. Teorema della quantità di moto. Equazioni di Euler. Teoremi di Bernoulli.

Equazioni di Navier ed equazioni 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.

Trasformazioni di energia nei corsi a pelo libero; correnti lente e correnti veloci. Risalto idraulico. Altre dissipazioni concentrate. Stramazzi e paratoie. Moto uniforme e moto permanente nei corsi a pelo libero. Canale Venturi. Cenni di idraulica fluviale.

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. Moto vario di filtrazione.

Modelli fisici e modelli analogici. Schemi numerici.

Misure di portata, velocità ed altezze d'acqua.

4688

IDROLOGIA TECNICA

Docente: **Ezio Todini** prof. ord.

Programma

Gli strumenti per la misura delle piogge e delle portate. I criteri, gli accorgimenti ed i metodi di raccolta, elaborazione e presentazione dei dati.

I modelli matematici della legge del fiume. Le curve caratteristiche: significato, applicazioni. Costruzioni empiriche; interpretazioni e rappresentazioni analitiche. Sistemi di aggiustamento; saggi di validità. Le previsioni a lunga scadenza per il progetto delle opere idrauliche.

Dinamica dei bacini idrografici: i metodi di trasformazione applicati all'Idrografia. Il calcolo delle piene da piogge in atto: metodo dell'idrogramma unitario. Elaborazioni degli idrogrammi e degli idrogrammi, i coefficienti di correzione.

Lo studio e la previsione delle piogge. Elaborazione ed inquadramento dei dati sperimentali grezzi: la costruzione e la utilizzazione delle linee segnalatrici di possibilità climatica. La previsione dei pluviogrammi secondo il loro grado di rischio.

Testi consigliati

G. EVANGELISTI, *Impianti Idroelettrici*.

G. REMENIERAS, *L'hydrologie de l'ingénieur*.

M. ROCHE, *Hydrologie de surface*.

Pubblicazioni del Servizio Idrografico.

G.P. DORE, *Appunti per il Corso di Metodi di osservazione e misura*.

P. GUERRINI, *I metodi di trasformazione applicati all'Idrografia*.

Appunti per il Corso.

Tesi di Laurea

- Trasferimento semiautomatico degli archivi idrografici su calcolatori.
- Studio sistematico dei coefficienti istantanei di deflusso.
- Metodologie di raccolta, archiviazione e lettura dei dati.
- Elaborazioni su calcolatori automatici.
- Indagini preliminari al progetto delle opere idrauliche.

11167

IDROLOGIA TECNICA II (semestrale)

Docente: **Marco Franchini** ricerc. (inc.)

Programma

Complementi di calcolo delle probabilità e di statistica — Tecniche di regionalizzazione dell'informazione idrologica: Factor Analysis; Cluster Analysis; Componenti principali. Elementi di Teoria Bayesiana.

Complementi sulla rappresentazione del ciclo idrologico — I procedimenti di soluzione di tipo analitico e numerico per i modelli matematici relativi alla rappresentazione del deflusso in alveo, del deflusso superficiale, dell'infiltrazione e del deflusso in falda.

Interazione fra gli aspetti quantitativi e qualitativi dell'acqua all'interno del ciclo idrologico. I sistemi operativi per la previsione di piena in tempo reale.

Testi consigliati

HAAN, *Statistical Methods in Hydrology*, The Iowa State University Press, 1977.

EAGLESON P.S., *Dynamic Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, 1970.

KINZELBACH W., *Groundwater Modelling: An introduction with Sample Programs in Basic*, Developments in Water Science, Elsevier 1987.

- JERMAR M.K., *Water resources and water management*, Developments in Water Science, Elsevier 1987.
- STEPHENSON D., MEADOWS M.E., *Kinematic Hydrology and Modelling*, Developments in Water Science, Elsevier 1986.
- JAMES A., *An Introduction to Water Quality Modelling*, John Wiley and Sons, 1984.
- MARSILY G., *Quantitative Hydrogeology*, Academic Press, Inc. 1986.

Corsi propedeutici consigliati: Idraulica, Idrologia e Idrografia.

Tesi prevalentemente di ricerca: Applicazioni della modellistica matematica a problemi quali: la stima delle portate di progetto; la valutazione in termini probabilistici della distribuzione spaziale degli eventi pluviometrici critici; i processi di erosione e trasporto solido a livello di bacino; la diffusione degli inquinanti in superficie, in falda ed in alveo; le piene fluviali; la previsione di piena in tempo reale; il processo di infiltrazione nell'insaturato.

518

IMPIANTI SPECIALI IDRAULICI

Docente: **Paolo Lamberti** prof. ass. (inc.)

Programma

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. Le 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 delmacchinario; scarichi sincroni, tegoli deviate 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. Patron, Bologna.

F. ARREDI, *Costruzioni idrauliche*, Ed. UTET, Roma.

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.

11708

IMPIANTI TECNICI

Docente: **Alessandro Cocchi** prof. ord. (inc.)

Finalità del corso

Il corso 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 dell'acqua per usi igienico sanitari ed antincendio.

*Programma***A) Impianti di riscaldamento**

Trasmissione del calore in regime stazionario e non stazionario. Isolamento termico. Controllo della condensazione interstiziale o 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. Legislazione: legge 10/1991, decreti e norme UNI correlate. 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 ve-

trate 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.

E) *Impianti e sistemi anticendio*

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 di estinzione.

Testi consigliati:

AMERIO, SILLITTI, *Impianti tecnici per l'edilizia*, SEI Ed., Torino.

Manuale di Progettazione Edilizia, vol. 2, *Criteri ambientali e impianti*, Hoepli Ed., Milano.

DALL'Ò, PALMIZI, *Impianti di riscaldamento*, CLUP Ed., Milano.

DALL'Ò, PALMIZI, *Impianti idrosanitari*, CLUP Ed., Milano.

PIZZETTI, *Condizionamento dell'aria*, Hoepli Ed., Milano.

11709

INFRASTRUTTURE VIARIE

Docente: **Gianfranco Marchi** ricerc.

Programma

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 completo, 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. Parcheggi a raso e multipiano. Le infrastrutture per i trasporti collettivi: ferrovie metropolitane, sistemi innovativi di trasporto in sede propria; stazioni ed autostazioni.

9043

INGEGNERIA DEL TERRITORIO

Docente: **Giovanni Salizzoni** ricerc. (inc.)

Il corso è destinato agli studenti del V anno (indirizzo territorio) e si propone di approfondire e completare le analisi delle relazioni intercorrenti tra pianificazione del territorio e assetto insediativo complessivo.

Sotto il profilo didattico l'obiettivo è quello di definire una corretta applicazione delle tecnologie dell'ingegneria civile al dimensionamento e la collocazione dei grandi interventi insediativi ed infrastrutturali, puntuali e a rete, e di valutarne i costi, benefici ed efficacia economica-gestionale.

Il corso pertanto è orientato verso un'attiva collaborazione con gli esperti di pianificazione territoriale, di trasporti, di costruzioni idrauliche e di difesa e conservazione del suolo.

Programma

Prima parte

- 1) Analisi e procedure del processo progettuale urbanistico.
- 2) La teoria della soglia di Malisz-Kozlowsky.
- 3) Principi di analisi costi-benefici applicati alle strutture territoriali.
- 4) I costi di infrastrutturazione delle reti e delle opere di urbanizzazione puntuali.
- 5) I costi della gestione ambientale.

Seconda parte

- 1) Principi e criteri di massima per la infrastrutturazione e l'allestimento del territorio mediante opere puntuali e a rete.
- 2) Il sistema della viabilità, ferroviario e delle stazioni, porti e aeroporti.
- 3) Strutture metropolitane di trasporto pubblico.
- 4) Rete acquedotti, fognature e sistema dei depuratori.
- 5) Il sistema idrografico.
- 6) Il sistema del verde.
- 7) Le grandi strutture puntuali di servizio.
- 8) Analisi dei criteri di accessibilità nelle aree metropolitane.

- 9) Valutazione sulla congruenza fra il sistema della mobilità e delle reti infrastrutturali e la caratterizzazione funzionale e spaziale del sistema urbano.
- 10) Correlazioni tra progettazione a grande scala e progettazione per l'insediamento urbano di quartiere.

Nel corso delle lezioni saranno presentati esempi relativi a città italiane e straniere ed esperienze progettuali attuali.

Il corso è completato da *esercitazioni* obbligatorie: singole o di gruppo, su temi che abbiano relazione con quanto riportato nel programma.

L'*esame* consiste in un colloquio sul lavoro di esercitazione svolto e sugli argomenti trattati nelle lezioni.

11139

INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE

Docente: **Gianni Luigi Bragadin** prof. ord. (inc.)

Programma

1) Generalità.

Definizione di inquinamento. L'Ingegneria Sanitaria Ambientale. La difesa dall'inquinamento. I settori di intervento: acqua, aria, suolo.

2) Acqua

Acque naturali.

Il ciclo dell'acqua naturale.

I corpi idrici. Fiumi, laghi, mare. Caratteristiche delle acque naturali. Criteri generali per il corretto e razionale uso dell'acqua. Caratteristiche per l'utilizzo potabile, agricolo, industriale, per il mantenimento della vita acquatica, ricreativo, per navigazione. Requisiti e legislazione.

Acque artificiali o condotte

Le acque condotte per uso urbano. Acquedotti: vari prelievi, trattamenti, qualità richiesta. Quantità richiesta, portate orarie giornaliere annuali. S toccaggio e distribuzione. Utilizzazione delle acque potabili.

Acque di rifiuto di origine domestica.

Collettamento e convogliamento le reti. Le fognature: nere e miste. Calcolo sezioni tipo condotte pozzetti pendenze allacciamenti.

L'impianto di trattamento

a) preliminari; calcolo in arrivo; BOD; le altre componenti inquinanti; calcolo dei carichi in arrivo; variazioni giornaliere annuali; le acque da fogna mista.

b) l'impianto; linea acqua. I Primario: gli sfioratori, le griglie, il sollevamento, olio e sabbia, decantatore. Il Secondario: il reattore biologico le equazioni, decantatore, calcolo

ricircolo. III Terziario: denitrificazione, defosfatazione, clorazione, le caratteristiche delle acque in uscita, la legge Merli, la linea fango, recupero energetico, deidratazione e smaltimento fanghi.

Le acque di scarico di origine industriale.

Le acque di scarico di origine agroindustriale.

Le acque grigie. Il dilavaggio urbano. Le acque da zone agricole e incoltre.

I corpi ricettori. Il conferimento delle acque di scarico nei corpi recettori. Trasporto e diffusione di inquinanti in ecosistemi acquatici. Le equazioni idrauliche. L'equazione generale diffusione avvezione. Bilancio BOD-DO, Bilancio di Azoto e Fosforo. Lagune biologiche ed ecosistemi filtro. Fiumi e torrenti. Bacini a debole ricambio. Laghi. Mare. Le condotte sottomarie. I moti delle grandi masse: moto geostrofico. L'Adriatico.

3) Rifiuti solidi

Classificazione dei rifiuti solidi. Conferimento, raccolta differenziata. Trattamento: incenerimento, compostaggio. Stoccaggio: discarica controllata.

4) Inquinamento atmosferico

Statica e dinamica. Meteorologia. Inquinamento atmosferico: la combustione. Meteorologia dell'inquinamento. I grandi camini. Dispersione degli inquinanti, modelli. Trattamento delle emissioni. Le fonti distribuite: il riscaldamento domestico, il traffico, il motore a combustione.

5) Fabbisogni energetici

Testi consigliati:

METCAL & EDDY, *Wastewater engineering treatment disposal reuse*, Mc Graw-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:

Il corso prevede una serie di esercitazioni, visite tecniche e conferenze sugli argomenti del programma di insegnamento.

663

MACCHINE (sem.) (civili)Docente: **Marco Gambini** prof. ass. (inc.)1) *Sistemi energetici e componenti*

Introduzione sui sistemi di conversione dell'energia termica in energia meccanica.

Gruppi con turbine a gas. Gruppi con turbine a vapore. Cicli combinati gas-vapore. Gruppi di cogenerazione. Sistemi frigoriferi. Condensatori. Caldaie per riscaldamento e generatori di vapore per applicazioni industriali.

2) *Macchine operatrici volumetriche*

Meccanica dei manovellismi. Macchine operatrici volumetriche. Compressori e pompe volumetriche.

3) *Turbomacchine operatrici idrauliche*

Principi di funzionamento e differenze con le macchine volumetriche. Equazioni generali delle turbomacchine. Pompe centrifughe.

Testi consigliati:

- G. NEGRI DI MONTENEGRO, D. MORO, G. NALDI, *Corso di macchine. Sistemi e componenti termici*, Ed. Pitagora.
- G. NEGRI DI MONTENEGRO, G. NALDI, A. PERETTO, *Corso di macchine. Macchine volumetriche - Trasmissioni meccaniche*, Ed. Pitagora.
- G. MINELLI, *Macchine idrauliche*, Ed. Pitagora.
- G. MORANDI, *Macchine ed apparecchiature a vapore e frigorifere*, Ed. Pitagora.

667

MACCHINE II (sem.) (civili, indirizzi idraulica e trasporti)Docente: **Marco Gambini** prof. ass. (inc.)1) *Motori a combustione interna*

Motori alternativi a combustione interna. Motori ad accensione comandata e ad accensione per compressione (Diesel).

Turbine a gas.

2) *Turbomacchine*

Principi di funzionamento ed equazioni generali delle turbomacchine.

Turbine a fluido comprimibile. Turbine idrauliche. Compressori centrifughi. Pompe centrifughe, elico-centrifughe ed assiali.

Testi consigliati:

- G. NEGRI DI MONTENEGRO, G. NALDI, A. PERETTO, *Corso di macchine. Macchine volumetriche - Trasmissioni meccaniche*, Ed. Pitagora.
 G. MINELLI, *Macchine idrauliche*, Ed. Pitagora.
 G. MINELLI, *Motori a combustione interna*.
 G. MORANDI, *Macchine ed apparecchiature a vapore e frigorifere*, Ed. Pitagora.

10204

MISURE E CONTROLLI IDRAULICI

Docente: Irene Daprà ricerc. (inc.)

Programma

Omogeneità dimensionale. Insieme di grandezze dimensionalmente indipendenti. Teorema π .

Strumenti e metodi di misura per grandezze di interesse idraulico: velocità, portata, pressione, portata solida in sospensione e al fondo. Norme UNI. Errori di misura.

Apparati di controllo e loro classificazione in base allo scopo, alle modalità di intervento ed ai mezzi impiegati. Requisiti dei fluidi intermediari. Pompe, filtri, accumulatori, condotte, valvole, motori rotativi e motori lineari. Caratteristiche esterne dei vari componenti e valutazione dei relativi parametri differenziali. Tecnica della controreazione. I sistemi di controllo più frequentemente impiegati. Dimensionamento di massima dei singoli organi. Metodi per l'analisi del comportamento dinamico.

Gli automatismi più diffusi. Tipi speciali di valvole. Interventi di sequenza. Problemi di sincronizzazione. Funzioni logiche fondamentali. Circuiti temporizzatori. Metodi di sintesi per i circuiti logici. Criteri di progetto per un automatismo.

11712

MODELLISTICA IDRAULICA

Docente: Giambattista Scarpi prof. ord.

Tecniche di acquisizione, elaborazione e trasmissione dati. 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, di moti ondosi, di piene in reti idrografiche. Modelli in aria di fenomeni idrodinamici.

Modelli analogici: modelli Hele-Shaw; analogia elettrica.

Modelli matematici: generalità. Modellazione di moto vario nelle reti in pressione e a

pelo libero, della circolazione delle acque sotterranee, della diffusione e dispersione di inquinanti, dell'agitazione delle acque portuali, delle correnti marine e dell'evoluzione delle coste.

Propedeuticità consigliata: Idraulica.

Testi consigliati

U. PUPPINI, *Idraulica*, Zanichelli, 1947.

M. FAZIO, *Manuale delle unità di misura*, ISEDI, Milano, 1973.

A.T. TROSKOLANSKI, *Théorie et pratique des mesures hydrauliques*, Dunod 1962.

L'esame è costituito da una prova orale, integrata da disegni e calcoli estemporanei.

Tesi di Laurea di indirizzo sia teorico che applicativo.

11170

ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE

Docente: **Claudio Comani** prof. ass. (inc.)

Programma

I — Lo studio dell'impresa di costruzione nei suoi aspetti storici, di organizzazione, di figura giuridica, di specializzazione, di attività imprenditoriale, e nei confronti delle responsabilità.

— Lo studio del lavoro, esteso alle tecniche per l'elaborazione dei piani economico-finanziari e per l'applicazione dei modelli di Gantt e Pert.

— Lo studio dell'appalto, comprendente la definizione delle varie forme di appalto, dei capitolati d'appalto, dei contratti d'appalto.

— 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.

II — Il cantiere in generale, la sua progettazione ed il suo impianto: l'impiego del personale, delle macchine, dei materiali, la predisposizione degli approvvigionamenti, l'installazione di fabbricati provvisori, di impianti elettrici, idrici, gassosi, di servizi generali.

— La caratterizzazione dei vari tipi di cantiere, estesa ai cantieri stradali, ai cantieri per le costruzioni marittime ed a quelli per le costruzioni idroelettriche, aeroportuali e delle gallerie.

— Le macchine da cantiere con riferimento ai rendimenti, al costo di esercizio e manutenzione, agli ammortamenti, ai vari tipi di macchine e la loro classificazione.

III — Il cantiere edile per quanto concerne gli aspetti dimensionali, organizzativi, gestionali, operativi: tracciamento, scavi, trasporti, produzione di malte e conglomerati.

— Lo studio relativo alla provenienza e natura degli inerti, delle tecniche di frantumazione, di lavaggio, di vagliatura, di determinazione della composizione granulometrica, di trasporto e conservazione dei leganti e degli altri materiali, d'impiego dei conglomerati e loro classificazione, di scelta ed impiego delle casseforme.

— L'organizzazione del cantiere con riferimento particolare all'impiego di elementi costruttivi metallici, cementizi, litoidi, prefabbricati o costruiti in opera.

— Controlli e prove in corso d'opera; collaudi; sistemi di contabilità e certificazione delle opere e delle attività.

4679

PIANIFICAZIONE DEI TRASPORTI

Docente: **Giannino Praitoni** prof. ass. (inc.)

Finalità del corso

In stretta integrazione con i corsi di *Tecnica ed economia dei trasporti* e di *Teoria e tecnica della circolazione* il corso si propone di offrire una trattazione unificata dei diversi aspetti teorici, di natura interdisciplinare, che caratterizzano la materia e di fornire gli elementi per l'individuazione delle possibilità applicative dei metodi quantitativi impiegabili nella pianificazione dei trasporti alle diverse scale territoriali.

Programma

Introduzione. Cenni sulla teoria dei sistemi. Il sistema territorio-trasporti. Il funzionamento del sistema domanda-offerta di trasporto. Le fasi del processo di pianificazione dei trasporti.

La domanda di trasporto. La stima della domanda di mobilità con indagini dirette. La delimitazione dell'area in studio. I problemi di disaggregazione. I metodi di campionamento. I vari tipi di indagini. I metodi di rappresentazione.

L'offerta di trasporto. Definizioni e caratteristiche dei sistemi e delle reti di trasporto. La schematizzazione di sistemi e reti. Le funzioni di costo e di prestazione. Cenni sulla teoria dei grafi.

I modelli della domanda di trasporto. Definizione, significato e classificazione dei modelli. I modelli di derivazione economica secondo la teoria del consumatore. Funzione di domanda. Beneficio lordo e surplus del consumatore. I modelli descrittivi simultanei e sequenziali. I modelli a stadi: generazione, distribuzione, ripartizione modale, assegnazione. I modelli comportamentali. Le funzioni di utilità e le curve di indifferenza.

Metodi di valutazione degli interventi nel settore dei trasporti. Gli strumenti di pianificazione secondo la normativa italiana: piani del traffico, della mobilità, dei trasporti, di

impatto ambientale. Il problema dell'equilibrio fra domanda e offerta di trasporto. Classificazione dei criteri di valutazione. Le analisi unicriteria: finanziaria ed economica. L'analisi costi-benefici. Le analisi multicriteria e multiobiettivo. Cenni sui metodi di analisi dell'impatto ambientale.

Esercitazioni. Il corso è integrato dall'illustrazione di esperienze di pianificazione dei trasporti finalizzate allo sviluppo di esercitazioni riguardanti esempi applicativi semplificati, anche con l'ausilio del calcolo automatico.

Testi consigliati:

- A. ORLANDI, *Principi di ingegneria dei trasporti*, Patron, Bologna.
 A. ORLANDI, *Studio dei sistemi di trasporto*, Pitagora, Bologna.
 A. ORLANDI, *Tecnica della Circolazione*, Pitagora, Bologna.
 G.B. HUTCHINSON, *Principles of urban transportation system planning*, Mac-Graw-Hill.
 M.L. MANHEIM, *Fundamentals of transportation system analysis*, MIT Press.
 STOPHER-MEYBURG, *Transportation systems evaluation*, Lexington Books.
 Altre pubblicazioni saranno indicate dal docente.

Svolgimento degli esami: prova orale. È richiesta al candidato la presentazione e la discussione delle esercitazioni scritte svolte durante il corso.

Tesi di laurea: pianificazione dei trasporti alle diverse scale territoriali.

10422

PROGETTAZIONE DI SISTEMI DI TRASPORTO

Docente: **Mario Matassa** prof. ass.

Finalità del corso. Il corso si propone di fornire gli elementi di base per la progettazione funzionale dei sistemi di trasporto in generale, ed in particolare di quelli terrestri. Gli argomenti vengono pertanto sviluppati non solamente sul piano teorico ma anche, e soprattutto, su quello pratico progettuale. A tal fine le lezioni vengono integrate da esercitazioni in aula.

Programma

Generalità. Definizione di sistema di trasporto. Caratteristiche funzionali ed operative dei sistemi di trasporto. Prestazioni meccaniche, di servizio ed accessorie. Condizioni di sicurezza e di regolarità. Procedure di studio. Studio mediante modelli.

Sistemi terrestri. Sistemi propulsivi dei veicoli stradali e ferroviari. Caratteristiche

funzionali dei motori. Motori termici ed elettrici: parametri caratteristici (potenza, coppia, rendimento), alimentazione, regolazione, emissioni inquinanti. Trasmissioni: meccaniche, idrostatiche, idrodinamiche, elettriche, miste e loro componenti. Trasmissioni modulanti. Frenatura dei veicoli stradali e ferroviari. Sistema di sterzata dei veicoli stradali. Veicoli non convenzionali: a cuscino d'aria ed a sostegno magnetica.

Sistemi navali ed aerei. Cenni sui sistemi propulsivi dei veicoli commerciali.

Sistemi continui. Cenni sugli impianti a tubo, a nastro ed a fune.

Propedeuticità: Tecnica ed Economia dei trasporti.

Esami: orali con presentazione e discussione delle varie esercitazioni scritte svolte durante il corso.

Testi consigliati

A. ORLANDI, *Meccanica dei Trasporti*, Ed. Pitagora, Bologna.

M. MATASSA, *Le caratteristiche funzionali dei veicoli da trasporto*, Ed. Patron, Bologna. Appunti e materiale illustrativo dello stato dell'arte dei dispositivi verranno forniti nel corso delle lezioni.

Tesi di laurea: studi e progetti riguardanti i diversi sistemi di trasporto.

11353

PROGETTAZIONE PER L'EDILIZIA INDUSTRIALIZZATA

Docente: **Fabio Selva** prof. ass.

Finalità

Il corso ha per oggetto la progettazione del sistema edilizio nell'ambito delle relazioni tra *sistema ambientale* e *sistema tecnologico* e lo studio dei rapporti tra le diverse dimensioni dell'*organismo architettonico* e la *componente tecnica* collocate nella prospettiva di razionalizzazione del processo edilizio.

Il corso si propone di analizzare le problematiche connesse con la razionalizzazione delle diverse fasi del processo edilizio, concepito in termini sistematici, e con l'applicazione dei criteri e metodi, che sono alla base dei processi industriali, nella progettazione, esecuzione, gestione e manutenzione del sistema edilizio.

I temi trattati riguardano quindi i diversi rapporti intercorrenti tra *produzione, tecnologia e tipologia*, con particolare riferimento alle strumentazioni concettuali e operative che intervengono nelle diverse componenti di trasformazione del contesto costruito.

Programma

1. Contesto produttivo e costruito

Analisi storica del settore delle costruzioni. Fattori della produzione e struttura delle imprese. Tecnologia dell'innovazione, della conservazione e della modificazione.

2. Organizzazione dell'attività edilizia

Struttura del processo edilizio, razionalizzazione del processo edilizio nel contesto ambientale. Fasi sistematiche del processo edilizio, operatori e modelli organizzativi.

Il processo industriale: teoria generale e definizioni di base. Analisi storica del settore dell'industrializzazione edilizia.

Strumentazioni operative in relazione alle strategie della produzione.

3. Criteri di metodo applicati alla progettazione tecnologica del sistema edilizio e degli elementi funzionali

Metodologia della progettazione globale: indirizzi di base, elementi progettuali, sistematica dell'azione progettuale.

Industrializzazione e prefabbricazione. Prototipi, modelli, disegni di fabbricazione, disegni d'uso.

Fasi sistematiche della progettazione ambientale e tecnologica. Sistema dei requisiti. Criteri e metodi di scomposizione del sistema tecnologico. Analisi di fattibilità (economica, tecnologica e funzionale) del sistema edilizio.

4. Rapporti tra tipologia edilizia e procedimento costruttivo

Criteri di classificazione e di ordinamento tipologico nello studio dei materiali, degli elementi e dei sistemi costruttivi.

Criteri per la progettazione del sistema edilizio industrializzato: a livello spaziale, a livello tecnologico.

Criteri di scelta dei materiali e del tipo costruttivo. Il piano di costruzione. Analisi ed esemplificazioni di procedimenti costruttivi e di componenti industrializzati.

5. Strumenti normativi per la progettazione del sistema edilizio

I supporti normativi nella progettazione degli elementi della costruzione, normativa di qualità, dimensionale, tipologica.

La normativa tecnica, aspetti applicativi della normativa di qualità (oggettuale e prestazionale), della normativa dimensionale con riferimento alla progettazione dei componenti e della normativa tipologica.

Esercitazioni

Le esercitazioni costituiscono una fase applicativa di progettazione del sistema edilizio e degli elementi funzionali-costruttivi che lo compongono.

Le esercitazioni vertono su una lettura critica di un organismo architettonico su cui si sviluppa una simulazione progettuale su elementi funzionali del sistema tecnologico. Questa fase è finalizzata alla progettazione esecutiva e si esplica in un ambito di progettazione a livello seminariale.

Testi consigliati

- AA.VV., *Struttura delle imprese e tecnologia in edilizia*, Marsilio Editore, Venezia, 1982.
- I. CICCONE, *Quarto ciclo edilizio*, BE-MA, Milano 1980.
- AA.VV., *Prospettive di industrializzazione edilizia*, Franco Angeli Editore, Milano, 1978..
- E. MANDOLESI, *Edilizia*, UTET, Torino, 1978.
- AA.VV. (a cura di P. SPADOLINI), *Design e tecnologia*, Edizioni Luigi Parma, Bologna, 1974.
- G. NARDI, *Progettazione architettonica per sistemi e componenti*, Franco Angeli Editore, Milano, 1976.
- M. ZAFFAGNINI, *Progettare nel processo edilizio*, Ed. L. Parma, Bologna, 1981.
- F. NUTI, *Tecnologie industrializzate e tipi edilizi per la residenza*, Edizione CLUEB, Bologna, 1984.
- P.N. MAGGI, L. MORRA, *Coordinazione modulare*, F. Angeli Ed., Milano, 1975.
- AA.VV., *Riferimenti normativi per la progettazione ambientale*, Edizione CLUEB, Bologna, 1985.

8078

PROGETTAZIONE URBANISTICADocente: **Celestino Porrino** prof. ass.

Il Corso ha per oggetto lo studio del progetto di urbanistica, inteso come progetto dello spazio urbano e dell'ambiente abitativo in senso globale.

Esso si propone di fornire allo studente elementi di metodo, valutazioni critiche, ed informazioni teoriche e pratiche, utili per una definizione progettuale che sia insieme momento ideativo e strumento operativo, e costituisca il necessario raccordo tra piano urbanistico generale e progetti edilizi attuativi.

Dal punto di vista del campo disciplinare, il Corso si colloca in relazione da un lato con la Tecnica Urbanistica e dall'altro con la Composizione Architettonica.

I risultati specifici che si cerca di conseguire, quindi, riguardano essenzialmente l'acquisizione più ampia di criteri e di riferimenti applicabili ad un'attività di progettazione urbanistica dettagliata, avente i contenuti e l'operatività che nella prassi corrente vengono attribuiti al Piano Particolareggiato.

A tale scopo lo svolgimento del Corso:

- riconosce i requisiti della morfologia e della struttura urbana;
- esamina i processi di identificazione e configurazione dello spazio urbano;
- sollecita la riflessione sulle tematiche delle gerarchie funzionali, delle articolazioni spaziali e dei rapporti tra nuovo ed esistente;
- fornisce strumenti concettuali ed operativi per la redazione del progetto urbanistico dettagliato.

Programma

- 1) **Metodo di lettura del processo urbanistico storico**
 - 1.1. Caratteri antropici della costruzione dello spazio abitabile.
 - 1.2. Riconoscimento dei processi insediativi inerenti alle diverse dimensioni spaziali.
 - 1.3. Trasformazioni del tessuto e dell'isolato urbano.
- 2) **Schema di sviluppo delle teorie della progettazione urbana.**
 - 2.1. Classicismo e funzionalismo.
 - 2.2. Dalla città ideale alle utopie urbane.
 - 2.3. La progettazione della città moderna.
 - 2.4. I diversi programmi di ricerca post-funzionalisti.
- 3) **Strutturazione e configurazione dell'insediamento urbano.**
 - 3.1. Congruenza tra sistema spaziale e sistema di funzioni.
 - 3.2. Tessuto urbano e centralità.
 - 3.3. Ricomposizione dell'isolato urbano come insieme ambientale.
- 4) **La pratica del progetto di urbanistica.**
 - 4.1. Oggetto e progetto.
 - 4.2. Contenuti del progetto urbanistico di dettaglio.
 - 4.3. L'attuazione del progetto urbanistico di dettaglio.

Il Corso è completato da un ciclo di *esercitazioni* in aula, che si conclude con la compilazione di un elaborato annuale singolo o di gruppo. Le esercitazioni in aula consentono in ogni caso una adeguata partecipazione formativa a ciascuno studente, e sono graduate su temi propedeutici alla compilazione dell'elaborato finale.

Lo scopo delle esercitazioni è quello di sviluppare, in un rapporto continuo con il docente, esperienze concrete, benché elementari, di comprensione del processo di definizione delle scelte progettuali e di sperimentazione della efficacia delle tecniche di interpretazione e di rappresentazione delle modificazioni dello spazio urbano, nonché di trasmissione delle scelte progettuali.

Il programma dettagliato del Corso e delle Esercitazioni, nonché la *bibliografia* di riferimento, sono disponibili presso l'Istituto di Architettura e Urbanistica.

10007

PROGETTI PER LA RISTRUTTURAZIONE E IL RISANAMENTO EDILIZIO

Docente: **Giampiero Cuppini** prof. ass.

Contenuti del Corso

1. *Generalità*

- 1.1. Inquadramento del «recupero» nel processo di rinnovamento e adeguamento dell'e-

dilizia esistente sia nelle zone storiche che nelle fasce di più recente edificazione soggette a degrado (obsolescenza funzionale e/o tecnologica).

1.2. Gli strumenti legislativi di riferimento (legge 5 agosto '78, n. 457):

Il piano di recupero del patrimonio edilizio esistente: manutenzione ordinaria; manutenzione straordinaria; restauro e risanamento conservativo; ristrutturazione edilizia; ristrutturazione urbanistica.

2. *Indagini analitiche sullo stato del manufatto*

- 2.1. Messa a punto di una metodologia scientifica per la restituzione della situazione storico-costruttiva e dello stato di fatto dell'immobile oggetto di intervento.
- 2.2. Indicazione di una strumentazione tecnica appropriata ed aggiornata; utilizzo delle tecniche fotogrammetriche, termografiche ed altre.
- 2.3. Criteri per la determinazione di saggi e prove in funzione delle diverse classi di materiali e delle diverse destinazioni funzionali del manufatto.
- 2.4. Analisi morfologica e tipologica del contesto urbano in cui si opera, analisi visiva della obsolescenza tecnologica, metodologia per un rilievo sistematico e una corretta restituzione grafica.

Il tema della disciplina risulta di grande attualità e una domanda di preparazione professionale in tale disciplina è una realtà di fatto cui l'Università di Bologna non è in grado attualmente di offrire una risposta. I problemi di «recupero» del tessuto esistente, storico e non, costituiscono oggi un settore molto esteso dell'attività pratica e di ricerca nel campo edilizio.

3. *Teoria della progettazione nel recupero edilizio*

- 3.1. Conoscenza analitica dello stato edilizio del manufatto.
- 3.2. Acquisizione critica della destinazione dell'edificio (dopo averne verificato la compatibilità con gli schemi statici e tipologici).
- 3.3. Elaborazione degli schemi distributivi come ottimizzazione dell'uso della risorsa.
- 3.4. Definizione degli interventi impiantistici.
- 3.5. Stesura progettuale e primo confronto con i costi d'intervento (feed-back fino all'ottimizzazione del fattore costo).
- 3.6. Determinazione del fattore costo in funzione dell'organizzazione del cantiere e del modo di produzione.

4. *Pratiche d'intervento*

- 4.1. Interventi preventivi per la limitazione dei danni degli incendi.
- 4.2. Tecniche e metodologia del consolidamento: riferimenti elementari con particolare riguardo agli interventi sugli archi, le volte e le fondazioni, di consolidamento «leggero». Problematiche relative al restauro e consolidamento delle strutture lignee.
- 4.3. Gli intonachi: antiche tecniche d'intonacatura, difetti dell'intonaco, lavori di riparazione.
- 4.4. Infissi: valutazione delle possibilità d'adeguamento o della necessità di sostituzione: modalità d'intervento.

- 4.5. Presenza di umidità: tecniche di risanamento della struttura intaccata: tecniche scientifiche ed empiriche.
- 4.6. Isolamento termico degli edifici da recuperare: i materiali isolanti e le tecniche di isolamento per le varie componenti dell'edificio.
- 4.7. Uso di nuovi materiali e nuove tecniche costruttive appropriate agli interventi di recupero.

11172

PROTEZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIODocente: **Alberto Bizzarri** prof. ass.*Programma*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.
- Opere di difesa e sistemazione idraulica: rimboschimento; 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.

890

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (per Civili e Ambiente)

Docenti: **Angelo Di Tommaso** prof. ord. (Civili A-K, Edili A-K, Ambiente)
Agostino A. Cannarozzi prof. ord. (Civili L-Z, Edili L-Z)

Il corso 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 corso ultimato l'allievo dovrebbe essere in grado di impostare e valutare correttamente il grado di sicurezza, nel senso del calcolo elastico, di strutture semplici comunque vincolate e caricate e di iniziare con profitto i corsi successivi del settore strutturale.

Programma

- 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 di 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:

- M. CAPURSO, *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, Pitagora, Bologna.
 V. FRANCIOSI, *Scienza delle Costruzioni*, Vol. I, Liguori, Napoli.
 O. BELLUZZI, *Scienza delle Costruzioni*, Vol. I, Zanichelli, Bologna.
 A. DI TOMMASO, *Fondamenti di Scienza delle Costruzioni*, Pàtron, Bologna.
 L. BOSCOTRECASE, A. DI TOMMASO, *Statica applicata alle costruzioni*, Pàtron, Bologna.

Le esercitazioni svolte durante l'anno hanno la finalità di chiarire con esempi concreti la logica di impostazione necessaria per la soluzione degli esercizi.

Propedeuticità consigliate: si ritiene indispensabile che l'allievo abbia seguito e superato l'esame dei seguenti corsi del biennio: Analisi matematica I, II, Meccanica razionale.

Tesi di laurea

- Le tesi possono vertere sui seguenti argomenti:
- Calcolo a rottura delle strutture.
 - Stabilità dell'equilibrio elastico.
 - Dinamica delle strutture.
 - Calcolo strutturale automatico.

2144

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI II

Docente: **Eugenio D'Anna** prof. ass.

Il corso 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).

Completano il corso i primi elementi di analisi matriciale ed automatica delle strutture monodimensionali.

Il corso è integrato da esercitazioni al calcolatore con particolare riferimento alla Parte terza.

Programma

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.

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) Problemi strutturali con riferimento alla 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.

6776

SISTEMI DI TRAZIONEDocente: **Mario Matassa**, prof. ass. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria meccanica)

3971

SPERIMENTAZIONE DEI MATERIALI E DELLE STRUTTURE (semestrale)Docente: **Antonio Di Leo** prof. ass.*Presentazione*

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.

Il corso 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.

Programma

- 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 riflessi 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 Bažant-Panula); deformazioni viscosi (viscosità lineare: modelli CEB, ACI e Bažant-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.

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.

Testi consigliati

La bibliografia è disponibile presso la biblioteca dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni.

2736

STORIA DELL'ARCHITETTURA

Docente: **Roberto Fregna** ricerc. (inc.)

Cenni su:

— *il mondo antico*: patrimonio tecnologico, organizzazione territoriale, modo di produzione; elaborazioni architettoniche ed esperimenti urbanistici nell'antichità classica.

— *Medio Evo ed Età moderna*: tradizioni tecnologiche, culturali e civili. Organizzazione del territorio, della società, della produzione. Tecniche di insediamento e diritto urbano.

Ruolo e funzione dell'architettura. Suoi mezzi e suoi strumenti. Sua ideologia dello spazio costruito. Evoluzione delle tecniche e dei campi di applicazione della pratica costruttiva.

Programma

a) *Il quadro storico di fondo*

Avvento dell'età industriale. Trasformazione del patrimonio tecnico-tecnologico. Trasformazione dell'organizzazione dello spazio territoriale e dei sistemi urbani. Trasformazione dei sistemi di potere e dell'organizzazione sociale. Evoluzione degli insediamenti umani.

Trasformazione delle categorie di spazio, territorio, città, comunità, società. Commit-tenza e progettisti: reciproco rapporto. Tecniche e tematiche di progetto. Organizzazione della produzione edilizia. Organizzazione delle discipline giuridiche relative all'edilizia e all'organizzazione territoriale.

Il significato dell'architettura e dell'urbanistica nella cultura contemporanea.

b) *L'operatività*

Premesse e origini del Movimento Moderno. Le occasioni di realizzazione: in campo edilizio e in campo urbanistico. Dibattito teorico: connessioni con le discipline attinenti alla società, al sistema delle risorse, ai diritti civili. Gli esperimenti realizzati. Gli esperimenti progettati. L'invenzione delle tipologie. L'eredità tecnologica, progettuale e normativa derivata dall'esperienza del Movimento Moderno.

c) *Cronaca del presente*

Evoluzione delle esperienze di organizzazione del territorio e di realizzazione edilizia dal secondo dopoguerra ad oggi.

5570

STORIA DELL'ARCHITETTURA E DELL'URBANISTICA (Edili)

Docente: **Giuliano Gresleri** prof. ass.

11718

STRUTTURE DI FONDAZIONE (semestrale) (Civili e Ambiente)

Docente: **Raffaele Poluzzi** prof. ass.

Programma

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
- Cenno 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 il Corso vengono illustrati progetti di fondazioni realizzate e svolti esercizi, corredati di sviluppi numerici, sui principali temi trattati.

Testi consigliati

- BOWLES J.E., *Foundation analysis and design*, New York, McGraw-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.

9046

STRUTTURE SPECIALI (semestrale)Docente: **Massimo Majowiecki** prof. ass.*Programma*

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 presollecitate 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 corsi: Complementi di Tecnica delle costruzioni; Complementi di Scienza delle costruzioni; Analisi strutturale con elaboratore elettronico.

11350

TECNICA DEI LAVORI IDRAULICIDocente: **Sandro Artina** prof. straord.*Programma*

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). Progetti esecutivi (prescrizioni generali del Ministero dei Lavori Pubblici, dati necessari, elaborati finali).

Gare di appalto. Modalità e documenti di gara. Preparazione di una offerta. Valuta-

zione 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 collocation, 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 del corso 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.

11719

TECNICA DEI LAVORI STRADALI, FERROVIARI ED AEROPORTUALI

Docente: **Alberto Bucchi** prof. ord. (inc.)

Programma

- Organizzazione del cantiere. Pianificazione e programmazione. Pert. Gantt.
- Preparazione degli inerti. Frantumazione. Vagliatura. Lavaggio.
- Produzione e posa dei calcestruzzi cementizi.
- Produzione e posa dei conglomerati bituminosi.
- Costruzione della via. Tracciamento.
- Scavi delle terre.
- Macchine per trasporto, spandimento, livellamento, costipamento.
- Costruzione delle trincee e dei rilevati: problematiche e materiali.
- Manutenzione stradale. Fasi ed obiettivi. Degradi. Rilevamenti dati. Rigenerazione dell'aderenza. Rappezzi. Trattamenti superficiali. Tappeti. Fresatura e riciclaggio. Rafforzamenti profondi. Pavimentazioni rigide.
- Tecnica dei lavori ferroviari. Assodamento. Rincalzatura. Risanamento della massicciata. Livellazione e allineamento.
- Costruzione delle gallerie. Cantiere. Ventilazione. Macchine.
- Analisi economica dei progetti stradali. Analisi costi/benefici.
- Impatto ambientale. Analisi multicriteri. Normativa.
- Atti amministrativi. Contratti. Direzione lavori. Documenti. Revisione prezzi. Collaudo.
- Certificazione della qualità.

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.

1019

TECNICA DEI SONDAGGIDocente: **Giovanni Brighenti** prof. ord.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Ambiente e Territorio)

1026

TECNICA DELLE COSTRUZIONIDocenti: **Claudio Ceccoli** prof. ord. (Civili)**Pier Paolo Diotallevi** prof. straord. (Edili)

Finalità del corso: mettere gli allievi in grado di redigere il progetto delle più ricorrenti strutture.

Programma

Il corso, riguardante la teoria e la tecnica delle strutture, si articola nelle parti: Fondamenti 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.

Propedeuticità consigliate: Scienza delle costruzioni.

Testi consigliati:

Dispese redatte dai Docenti dell'Istituto.

- O. BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, ed. Zanichelli, Bologna; vol. II (Struttura 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); vol. III (Lastre piane).
- A. MIGLIACCI, *Progetti di strutture*, Tamburini, Milano 1968.
- G. OBERTI, *Corso di tecnica delle costruzioni*, Levrotto e Bella, Torino, 1971.
- P. 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.

Tesi di laurea:

Progetti di strutture - Coordinamento con tutti gli Istituti interessati a problemi strutturali.

3480

TECNICA DELLE COSTRUZIONI II

Docente: **Maurizio Merli** prof. ass.

Programma

Le lastre caricate nel loro piano. Le equazioni fondamentali per il calcolo dello stato di tensione. L'equazione di Maxwell-Airy. Le equazioni fondamentali dello stato di deformazione; equazioni di Navier. Soluzione con le differenze finite. Soluzione in forma di polinomi. Soluzione in serie trigonometriche. La trave parete irrigidita lungo il bordo inferiore. Notizie pratiche ed esempi costruttivi.

Lastre curve di rivoluzione. Definizioni e relazioni di carattere geometrico. Le azioni interne. Il regime di membrana con carichi aventi simetria radiale. Il regime di lastra: la lastra cilindrica, la lastra sferica, la soluzione semplificata di Geckeler. Sistemi di lastre curve di rivoluzione. Notizie pratiche ed esempi costruttivi.

Le lastre curve di forma qualsiasi. Definizioni e relazioni di carattere geometrico. Il regime di membrana. Le membrane cilindriche a direttrice poligonale. Le volte scatolari precomprese. Soluzione trigonometrica delle volte scatolari. Le membrane cilindriche a direttrice qualsiasi. Le lastre di traslazione snelle. Il calcolo delle volte come travi. La lastra cilindrica snella con i bordi rettilinei impediti di ruotare e di spostarsi orizzontalmente. Lastre di traslazione snelle aventi generatrice curva. Il metodo di Pucher, calcolo della membrana effettuato considerando la funzione degli sforzi. La soluzione ala differenze finite. Notizie pratiche ed esempi costruttivi.

Controventamento degli alti edifici. Criteri per la determinazione dello stato di sollecitazione e di deformazione. Controventamento con telai, mensole; associazione di mensole e telai. Pareti di controventamento con fori: procedimento di Rosman-Back, procedimenti semplificativi. Sistemi continui equivalenti. Pareti solidali a telai ortogonali. Sistemi spaziali; metodi al discreto e metodi al continuo. Notizie pratiche ed esempi costruttivi.

Metodi variazionali. Principi energetici nella teoria delle strutture. Metodi variazionali diretti di approssimazione.

Elementi finiti. Elementi finiti ricorrenti nello studio e nel progetto delle strutture civili. Notizie pratiche ed esempi.

Resistenza limite. L'analisi limite della resistenza delle strutture. Il calcolo delle tensioni in regime elasto-plastico. Il calcolo del coefficiente di sicurezza delle strutture iperstatiche. Teorema di Greenberg e Prager. Il calcolo delle lastre in regime elasto-plastico.

Stabilità dell'equilibrio. Sistemi meccanici discreti. Problema di autovalori; effetti del II ordine. Carichi e imperfezioni. Stabilità senza biforcazione. Stabilità delle strutture in campo elastoplastico. Metodi per lo studio di strutture metalliche e di c. a. Metodi di soluzione numerica di problemi statici.

Resistenza al fuoco. Incendio reale e convenzionale. Richiami di conduzione del calore. Proprietà dei materiali al variare della temperatura. La resistenza al fuoco di strutture metalliche e di c.a. Stati coattivi e metodi semplificati.

Edifici in muratura. Valutazione delle caratteristiche meccaniche. Criteri di calcolo per gli edifici in muratura. La normativa attuale e la normativa europea. Notizie pratiche ed esempi costruttivi.

1031

TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI

Docente: **Alessandro Orlandi** prof. ord.

Finalità del corso. Si introducono i concetti fondamentali e le modalità per lo studio di un qualsiasi problema di trasporto, nel settore sia spaziale sia strutturale; quindi si porge all'allievo una visione globale della problematica dei trasporti, impostata su un metodo sistemico rivolto, complessivamente o singolarmente, alle reti, ai sistemi di trasporto, all'organizzazione dei servizi.

Programma

Problema generale dei trasporti

Analisi del fenomeno del trasporto e definizione della sua problematica. Studio dei problemi di trasporto nei settori spaziale (territorio, azienda) e strutturale (via, veicolo, sistema). Definizione dei processi di studio per la progettazione e per l'organizzazione, dal punto di vista tecnico ed economico.

Le reti di trasporto

Tipologia, forma e funzioni delle reti di trasporto: distribuzione nel territorio e tipo di servizio offerto. Gli elementi della rete: rami, nodi, loro caratteristiche e funzioni; condizioni di continuità sulle linee e di equilibrio nei nodi. Capacità delle linee, dei nodi e della rete nel complesso. L'integrazione delle reti: condizioni generali di integrazione (tecniche ed economiche).

I sistemi di trasporto

Definizione di sistema di trasporto. Sistemi discontinui: terrestri (stradali, ferroviari, non convenzionali), natanti ed aerei. Sistemi continui: a trazione (a fune, a nastro, a catena) ed a compressione (tubo). Caratterizzazione dei sistemi di trasporto sotto gli aspetti funzionale, operativo, meccanico.

Studio dell'aspetto meccanico dei sistemi: condizioni generali di moto dell'elemento mobile. Definizione delle condizioni preliminari o fondamentali: il sostentamento, la stabilità. Studio delle condizioni di moto: la produzione della potenza motrice; la creazione della reazione di spinta; la guida e la manovrabilità.

La domanda di trasporto

Legge generale della domanda. La domanda di trasporto di persone e di merci. Analisi della domanda mediante un processo di studio a quattro stadi: generazione, distribuzione, scelta modale, assegnazione. Altre modalità di studio.

Problemi di economia dei trasporti

Concetti generali. Analisi economica dell'organizzazione e della gestione delle aziende di trasporto pubbliche e private. I metodi di analisi per la valutazione della redditività degli investimenti nel settore dei trasporti.

Esercitazione riguardante il progetto di organizzazione di un servizio di trasporto.

Testi consigliati:

A. ORLANDI, *Principi di ingegneria dei trasporti*, Ed. Pàtron, Bologna.

A. ORLANDI, *Meccanica dei trasporti*, Ed. Pitagora, Bologna.

M. MATASSA, *Le caratteristiche funzionali degli autoveicoli da trasporto*, Pàtron, Bologna.

A. ORLANDI, *Studio dei sistemi di trasporto*, Ed. Pitagora, Bologna.

Altre pubblicazioni saranno indicate dal docente.

Svolgimento degli esami: Prova orale — E' richiesta al candidato la presentazione e la discussione della esercitazione scritta svolta in aula durante lo svolgimento del corso.

Tesi di laurea

Pianificazione dei trasporti a livello urbano ed extraurbano. Organizzazione dei sistemi di trasporto; organizzazione e regolazione del traffico. Studio, fattibilità, tecnica ed economica, progettazione di sistemi di trasporto e loro particolari.

1034

TECNICA URBANISTICA I (Edili)Docente: **Carlo Monti** prof. ord.*Programma***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. Programmi economici, piani territoriali, piani e progetti urbanistici. Livelli di governo del territorio: competenze e strumenti.

2. Trasformazioni territoriali ed evoluzione degli strumenti di governo del territorio

L'evoluzione delle leggi urbanistiche in Italia dall'800 ad oggi: analisi storico-critica e quadro della normativa vigente. Le competenze delle Regioni e la legislazione regionale in materia di territorio, ambiente, edilizia, con particolare riferimento alla Regione Emilia-Romagna. I nuovi 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. Il rapporto piano-progetto. Le forme di concertazione fra iniziativa pubblica e privata, gli strumenti attuativi: Piani Particolareggiati, PEEP, Piani di Recupero, piani di settore, etc. Le nuove tendenze della pianificazione locale: confronto fra recenti esperienze italiane ed europee.

4. Le esperienze di pianificazione a scala sovracomunale e regionale

Rapporto fra sviluppo economico, tutela ambientale, organizzazione funzionale del territorio.

Le esperienze di pianificazione regionale in Italia e in Europa: gli obiettivi e gli strumenti di piano. I Piani Regionali più recenti: rapporti fra Piano Territoriale, Piano Paesistico, Piani di settore.

La pianificazione a scala provinciale. L'istituzione delle Autorità Metropolitane: problemi e prospettive. Metodologie di piano e sistemi informativi territoriali.

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 del costruito. 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 sistema delle comunicazioni, il progetto delle aree verdi, le opere di urbanizzazione, etc.). Cartografie tematiche e sistemi informativi per la pianificazione.

Esercitazioni ed esami

Le esercitazioni applicative, di tipo progettuale, sono indispensabili per la formazione dello studente ed obbligatorie per il superamento dell'esame, che verterà inoltre sulla

conoscenza degli argomenti del corso.

Le esercitazioni consisteranno nell'elaborazione di un progetto urbanistico di recupero in zone dell'area metropolitana di Bologna e di altre province della Regione; il progetto riguarderà aree in tutto o in parte già costruite, da recuperare/o trasformare, in zone storiche o di edilizia più recente. In tali aree si studierà l'inserimento di attività integrate (residenza, servizi, commercio, uffici, verde, etc.), con realizzazione mista, da parte dei Comuni o altri enti pubblici, e da parte dei privati.

A integrazione dell'esperienza progettuale così compiuta, nel corso dell'anno potranno essere svolte prove grafiche in aula, aventi come tema l'elaborazione di progetti elementari, analoghi a quelli studiati.

Bibliografia essenziale del corso

Testo base:

MONTI C., *Elementi di Urbanistica*, CLUEB, Bologna, 1994.

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, Conclusione).

CAMAGNI A., *Principi di Economia urbana e territoriale*, La Nuova Italia, 1993.

FALE A., *Diritto urbanistico*, 5ª 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.

MORBELLI G., *Un'introduzione all'urbanistica*, Ed. Angeli, Milano, 1986 (Capp. 1, 2, 7).

RIGUZZI G., *Analisi e pianificazione dei tessuti urbani. Il caso di Bologna*, Ed. CLUEB, 1993.

RONZANI G., *L'insediamento urbano, i costi e gli oneri*, ed. Maggioli, Rimini, 1984.

SECONDINI P. (a cura di), *La conoscenza del territorio e l'ambiente. Il ruolo delle tecnologie dell'informazione*, Ed. Dati & Fatti, 1989.

1034

TECNICA URBANISTICA I (Civili)

Docente: **Guido Ronzani** prof. ass.

Il corso 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 configurato la disciplina dell'urbanistica moderna, con un riferimento particolare all'uso dello zoning, diffusi 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 suoli 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).

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.

9235

TECNICA URBANISTICA II

Docenti: **Alberto Corlaita** prof. ord. (Edili A-K, Gestionale)
Giovanni Crocioni prof. ass. (Edili, L-Z)

L'ambito disciplinare nel quale il corso si colloca, risulta definito dalle relazioni fra programmazione economica e pianificazione territoriale. L'analisi di tali relazioni connette i diversi livelli decisionali e gestionali della programmazione economica con le aree territoriali organizzate attraverso gli interventi pianificatori e qualificate sulla base delle esigenze funzionali e abitative degli insediamenti.

In tale ambito culturale, il corso si propone di analizzare il ruolo e il contributo delle tecniche dell'urbanistica utili a stabilire un rapporto tra problemi dell'organizzazione programmatoria dello sviluppo e problemi di realizzazione dello spazio insediativo, in una prospettiva di mutua interazione.

*Contenuti e programmazione del corso**I Fase*

Valutazione dei problemi dello sviluppo economico e metodi della pianificazione rilevabili attraverso l'analisi delle strutture ambientali e l'organizzazione dello spazio abitato.

1. Elementi di analisi territoriale e richiamo dei contributi fondamentali alla formulazione di una teoria dello sviluppo e della formazione dei fenomeni territoriali, in dipendenza da una utilizzazione del suolo basata sull'esigenza di un corretto uso delle risorse.
2. Definizione del problema del controllo economico del piano urbanistico e territoriale, attraverso la trattazione dei criteri delle economie di dimensione e di localizzazione.

II Fase

Introduzione degli elementi fondamentali della scienza regionale in rapporto alle realtà economiche e istituzionali.

1. Valutazioni di metodo sul rapporto fra programmazione economica e pianificazione territoriale.
2. Criteri di confronto tra assetti territoriali alternativi; elementi per l'individuazione e

il trattamento delle variabili economiche tecnologicamente controllabili; valutazione dei costi della crescita urbana.

3. Strumenti analitici per la formazione delle decisioni.

III Fase

La programmazione nella esperienza degli anni '60 e '70: programmazione indicativa, prescrittiva, econometrica.

1. L'esperienza italiana di programmazione nazionale: dallo schema Vanoni al programma economico nazionale 1973-77.

2. L'esperienza dei Comitati Regionali di Programmazione Economica.

3. L'esperienza delle regioni italiane nella legislatura 1970-75 nei settori della programmazione economica e della pianificazione territoriale.

4. I criteri procedurali e normativi della programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio.

7950

TECNICHE DI ANALISI URBANA E TERRITORIALE

Docente: **Piero Secondini** prof. ass.

Finalità e collocazione del corso

Il corso intende fornire elementi per la determinazione di un corretto campo di applicazione di metodi, misure e strumenti e modelli matematici alla pianificazione territoriale ed ambientale alle diverse scale.

I contenuti del corso si coordinano con quelli di «Pianificazione e gestione delle aree metropolitane» e di «Tecnica urbanistica I e II» e sono finalizzati alla definizione delle basi teoriche dell'analisi urbana e territoriale ed al loro utilizzo come strumenti di aiuto alle decisioni nel campo della pianificazione del territorio nel rispetto dei principi di tutela dell'ambiente e di valorizzazione delle sue risorse.

Introduzione del corso

Collocazione disciplinare e contenuti dell'analisi urbana e territoriale; i rapporti fra analisi e pianificazione; le basi teoriche, i metodi e gli strumenti.

Le basi teoriche della scienza dell'insediamento

Concettualizzazione e rappresentazione della città, del territorio e dell'ambiente. Definizioni preliminari e riferimenti fondamentali alle categorie della «scienza regionale». Gerarchie e reti di città. Dinamica ed autoorganizzazione di un sistema urbano. Economia ed ambiente: beni pubblici e beni privati. Macro-economia ed ecologia per l'interpretazione dei processi di trasformazione urbana. Il concetto di «sviluppo sostenibile» e sue implicazioni sul processo di funzionamento del sistema «città-territorio».

Le linee di analisi

Gli approcci alla lettura ed all'interpretazione dell'organizzazione delle attività umane nello spazio e della loro trasformazione; la costruzione del raccordo fra analisi empiriche e basi teoriche. Metodi e tecniche di osservazione e misura. Classificazione e regionalizzazione dell'informazione spaziale. Il concetto di «regione». La modellazione matematica come ponte fra descrizione, interpretazione e previsioni di evoluzione dell'assetto del territorio. Gli ambiti di applicazione della modellazione matematica.

L'approccio metodologico

Analisi e piano: strutture logiche e metodologiche a supporto del processo di pianificazione. L'Amministrazione Pubblica ed il processo di pianificazione: i diversi paradigmi organizzativi ed il principio della sussidiarietà. Pianificazione complessiva e pianificazione di settore. I «modelli» della pianificazione; dalla pianificazione fisica alla pianificazione strategica; norma e concertazione; competizione e cooperazione; il marketing urbano. Dalla pianificazione alla gestione delle risorse territoriali ed ambientali.

Le tecnologie dell'informazione e la «conoscenza» del territorio

Le tecniche quantitative e le tecnologie dell'informazione a supporto dell'analisi e della pianificazione. I sistemi informativi geografici: significato, struttura, tecnologia ed applicazioni nel campo della descrizione del territorio e dell'ambiente. Le modalità di uso di questi strumenti all'interno del processo di pianificazione. Modellazione matematica di fenomeni territoriali e sistemi informativi geografici: esempi di integrazione.

Organizzazione del corso

Le lezioni sono integrate da esercitazioni (obbligatorie) di gruppo o individuali con approfondimento di alcuni argomenti nel corso; vengono svolti seminari per la discussione di esperienze di analisi e di pianificazione italiane e straniere. Sono a disposizione degli studenti per lo svolgimento delle esercitazioni le risorse di calcolo del Laboratorio di Pianificazione Territoriale del Dipartimento di Architettura e di Pianificazione del Territorio. L'esame di profitto verterà su una discussione degli argomenti affrontati nell'esercitazione e sulla verifica di conoscenza degli argomenti trattati nel corso.

Testi consigliati:

- SECONDINI P. (a cura di), *La conoscenza del territorio e dell'ambiente*, Dati & Fatti, Milano, 1988.
- SECONDINI P., *Sistemi informativi geografici e pianificazione territoriale: note introduttive*, CLUEB, Bologna, 1992.
- PASQUINI F., POMPILI T., SECONDINI P., *Modelli di analisi e di intervento per un nuovo regionalismo*, Angeli, Milano, 1995.
- CAMAGNI R., *Principi di economia urbana e territoriale*, La Nuova Italia Scientifica, Roma, 1993.
- ISARD W., *Methods of Regional Analysis*, MIT Press, Cambridge, 1976.

11177

TEORIA E TECNICA DELLA CIRCOLAZIONEDocente: **Giannino Praitoni** prof. ass.*Finalità del corso*

Il corso si propone di fornire la metodologia analitica ed i criteri sperimentali atti a valutare e ad ottimizzare le condizioni di circolazione sulla rete dei trasporti. Perciò dopo una sintetica illustrazione delle relazioni fra domanda e offerta, si passa allo studio dell'organizzazione della circolazione sulle diverse reti (stradale, ferroviaria, aerea), utilizzando anche i principali strumenti di analisi statistica, di ricerca operativa e di simulazione. In tale ambito vengono descritti i modelli rappresentativi e le tecniche di rilevamento sperimentale dei flussi veicolari, le caratteristiche funzionali e i criteri applicativi dei sistemi di controllo e regolazione della circolazione.

Programma

Le relazioni fra domanda e offerta e stato circolatorio. Il fenomeno circolatorio e i suoi parametri caratteristici. Aspetti strutturali e funzionali e metodi di rappresentazione del sistema dei trasporti. Le caratteristiche della domanda e la sua rappresentazione. Le relazioni domanda-offerta e le condizioni di equilibrio della rete.

Problemi generali dell'organizzazione della circolazione. La programmazione e la gestione dei flussi. Sistemi a traffico deterministico e sistemi a traffico casuale.

Elementi di pianificazione. La metodologia e la procedura di pianificazione dei trasporti: modelli e tecniche simulative di valutazione dello stato di mobilità.

La circolazione stradale. I parametri caratterizzanti il deflusso stradale e la loro rilevazione sperimentale. I modelli del deflusso e la loro matrice analitica ed empirica (curve di deflusso sui rami, funzioni di costo dei rami e dei nodi). Capacità e livello di servizio in condizioni di flusso ininterrotto e di flusso interrotto secondo l'Highway Capacity Manual 1965 e 1985.

I criteri generali di organizzazione della circolazione nelle aree urbane e metropolitane tenuto anche conto della normativa dei Piani Urbani del Traffico (PUT): ipotesi alternative di assetto della rete; studio e regolazione degli elementi nodali nelle condizioni di flusso interrotto.

La circolazione ferroviaria. Le caratteristiche di marcia dei veicoli nel sistema ferroviario. I parametri caratterizzanti la circolazione ferroviaria: tipologia delle linee, velocità, distanziamento. Sistemi e tecnologie per la regolazione della marcia ferroviaria: sistemi di dirigenza, impianti di blocco, di segnalamento e controllo. Valutazione della potenzialità delle linee.

La circolazione aerea. I parametri fondamentali del volo. L'organizzazione generale dell'aviazione civile secondo le norme ICAO: suddivisione degli spazi aerei e dei servizi di controllo del traffico. Le procedure di controllo e regolazione del traffico in linea e nei nodi, secondo la tipologia del volo. Il sistema informatico di rilevazione e gestione del traffico.

Elementi di statistica e di ricerca operativa. Richiami su alcuni concetti di calcolo delle probabilità e di analisi statistica. Applicazioni della teoria delle file di attesa e della programmazione lineare ai problemi della circolazione.

Esercitazioni. Il corso è integrato dallo svolgimento di esercitazioni riguardanti esempi applicativi semplificati delle problematiche della circolazione, anche con l'ausilio del calcolo automatico.

Testi consigliati:

- A. ORLANDI, *Tecnica della Circolazione*, Pitagora, Bologna.
- A. ORLANDI, *Principi di ingegneria dei trasporti*, Patron, Bologna.
- A. ORLANDI, *Studio dei sistemi di trasporto*, Pitagora, Bologna.
- A. ORLANDI, *Elementi di teoria delle file di attesa con applicazione ai trasporti*, Pitagora, Bologna.
- C. BUCHANAN, *Il traffico urbano*, Patron, Bologna.
- P. FERRARI, *L'assegnazione del traffico delle reti di trasporto Manuale di Ingegneria Civile*, vol. 4, ESAC-Zanichelli.
- G.B. HUTCHINSON, *Principles of urban transportation system planning*, McGraw-Hill, New York.
- G. VICUNA, *Organizzazione e tecnica ferroviaria*, CIFI, Roma.
- R. TREBBI, *L'IFR per i piloti dell'aviazione civile*, DOMUS, Milano.

Manuali:

Highway Capacity Manual (HCM) ed. 1965 e 1985.

Annessi tecnici dell'ICAO.

Transportation and traffic engineering handbook - Institute of transportation engineers - Concise encyclopedia of traffic & transportation systems - Pergamon Press.

Svolgimento degli esami: prova orale. È richiesta al candidato la presentazione e la discussione delle esercitazioni scritte svolte durante il corso.

Tesi di laurea: organizzazione, controllo e gestione del traffico sulle varie reti.

11178

TERMINALI ED IMPIANTI DI TRASPORTO

Docente: Giancarlo Foresti prof. ass.

Finalità del corso

Il Corso 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 ancora conosciuti solo a livello empirico.

La materia è particolarmente indicata, non solo per gli ingegneri della sezione trasporti, ma anche per gli edili che professionalmente si indirizzano verso la progettazione di edifici pubblici di trasporti.

Programma

1) *Problemi generali preliminari* - Richiami di tecnica ed economia dei trasporti. Cenni di meccanica della locomozione. Le reti e gli elementi di base (nodo e linea).

2) *I sistemi di trasporto* - Sistema stradale e ferroviario. Linee, nodi, reti. Capacità degli elementi dei sistemi. Veicoli e loro caratteristiche in relazione al servizio richiesto. Regolazione del traffico stradale mediante impianti semaforici. Studio e dimensionamento di massima di un sistema semaforico stradale. Cenni sulla circolazione ferroviaria. Processo di ottimizzazione gestionale delle linee di una rete con i metodi della programmazione lineare.

3) *Intermodalità nel settore passeggeri e merci* - Come si realizza e con quali dispositivi. Rassegna dei mezzi di movimentazione intermodale e loro campo d'impiego.

4) *Progettazione di impianti per i trasporti* - Esame generale ed economico del problema per la determinazione del tipo di impianto. Esame ambientale per la valutazione della domanda; scelta dell'ubicazione dell'impianto in relazione alla localizzazione della domanda ed alla struttura delle reti di trasporto; quantificazione della domanda per il dimensionamento dell'impianto. Studio funzionale e dimensionamento di alcuni impianti tipici. Applicazioni di ricerca operativa nel dimensionamento di strutture di servizio negli impianti nodali (autostazioni, porti, interporti, parcheggi).

a) *Parcheggio multipiano per autovetture* - Criteri generali per la scelta ubicazionale ed il dimensionamento, schemi funzionali dell'impianto, modalità di esercizio; soluzioni costruttive, anche in relazione alle normative di sicurezza.

b) *Autostazioni*: esame del traffico di passeggeri e di autobus, scelta del tipo di piazzale; dimensionamento del piazzale e delle banchine; relazioni fra impianto e ambiente urbano, per quanto riguarda sia la circolazione veicoli sia quella dei pedoni.

c) *Centro smistamento merci*: esame del tipo di movimento merci; altre attività complementari o supplementari da svolgere nell'ambito del 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 attenzione per il caso di uso di containers.

d) *Scali ferroviari - portuali - aeroportuali* - Vengono illustrate le problematiche generali e presi in esame modelli di strutture di recente realizzazione al fine di analizzare gli aspetti applicativi di quanto trattato a livello teorico in relazione anche all'evoluzione dei vettori, dei sistemi di movimentazione intermodale ed alle nuove esigenze del trasporto.

Propedeuticità: Tecnica ed economia dei trasporti.

Testi consigliati:

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.

Esami orali: è richiesta al candidato l'esposizione e la discussione di tutti i temi esposti durante lo svolgimento del corso.

Tesi di laurea: studio di fattibilità e progettazione di massima di impianti di trasporto e di terminali.

1061

TOPOGRAFIA

Docenti: **Vladimiro Achilli** prof. ass. (Civili)

Giuseppe Lombardini prof. ord. (Edili)

Programma

La posizione generale del problema del rilievo: - Richiami analitici e definizione della superficie di riferimento - Il geode 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*, Patron 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 svolgono *esercitazioni* pratiche e strumentali facoltative suddividendo gli studenti in gruppi 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.

11180

TOPOGRAFIA II

Docente: **Marco Unguendoli** prof. ord.

Programma

Parte I

Richiami ed approfondimenti della teoria degli errori e della compensazione delle misure. Analisi delle misure ed interpretazione statistica dei risultati. Metodi di progettazione ed ottimizzazione delle reti di controllo.

Automazione dei rilievi e restituzione automatica con particolare riguardo al rilievo di dettaglio ed ai rilievi altimetrici. Tracciamento automatico delle curve di livello.

Strumenti e metodi moderni per il rilievo topografico di precisione per applicazioni a problemi non cartografici: strumenti integrati, livello elettronico, livelli idrostatici, livello zenitale, collimatori, autocollimatori, clinometri, tiltmetri, estensimetri, accelerometri... Applicazione dei metodi e degli strumenti topografici per la soluzione di problemi in ingegneria:

- tracciamento di opere di Ingegneria civile con particolare riguardo ai grandi manufatti ed alle opere realizzate con tecniche di prefabbricazione;
- progetto di reti di controllo per i movimenti del suolo e di grandi opere di Ingegneria civile;
- misura di piccoli spostamenti verticali ed orizzontali e di rotazioni per il collaudo ed il controllo di manufatti con strumentazioni speciali;
- montaggio e controllo di grandi macchine operatrici e loro interazione con la struttura;
- misure per la rispondenza geometrica tra progetto ed opera realizzata (verticalità, planarità, volumetria...).

Parte II

Richiami di Geodesia con particolare riguardo ai sistemi di riferimento ed alla separazione fra geoide ed ellissoide.

Impiego delle tecniche spaziali con particolare riguardo al G.P.S. Applicazione del G.P.S. al rilievo topo-cartografico ed alle reti di controllo: misure calcoli e compensazione.

Problemi riguardanti l'inserimento di reti G.P.S. in rilievi preesistenti e del trattamento di misure satellitari e terrestri.

Cenni sull'uso del G.P.S. nella navigazione aerea, marittima e terrestre. Fotogrammetria dei vicini: applicazione della fotogrammetria al rilievo architettonico ed al controllo delle strutture e degli elementi costruttivi. Uso di camere metriche semi-metriche ed amatoriali.

Cenni di cartografia numerica e sull'aggiornamento cartografico.

Cenni sulla cartografia tematica.

La cartografia numerica a grande scala come base per i sistemi informativi, geografici e territoriali.

Tecniche di formazione e gestione dei sistemi formativi geografici (GIS):

- acquisizione dei dati (digitalizzazione e scansione di cartografia esistente, rilievi ex novo classici o satellitari, telerilevamento...) ed integrazione dei dati di diversa origine;
- modello dei dati (Raster e vettoriali);
- rappresentazione concettuale del territorio;
- tecniche per l'analisi spaziale del GIS;
- esempi di GIS.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

Programmi delle materie di insegnamento.

02

AERODINAMICA

Docente: **Giambattista Scarpi** prof. ord. (Civili, Meccanici)

Finalità del corso. Il corso ha lo scopo di fornire le nozioni necessarie per comprendere i fenomeni inerenti 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 ventilatori, pompe e turbine.

Programma

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). Moti piani irrotazionali di fluido incomprimibile. Funzione di corrente. Corrente traslocircolatoria attorno al cerchio. Funzioni analitiche e trasformazione conforme e loro applicazioni ai moti piani. Profili Joukowski. Teoria di Glauert per i profili sottili. Teoria di Prandtl dell'ala finita. Curve polari. 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 subsoniche. Correnti supersoniche. Espansione di Prandtl-Meyer. Le 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, CARRUTHERS, *Aerodynamics for engineering students*, Arnold.

KUETHE, CHOW, *Foundation of aerodynamics*, Wiley.

MATTIOLI, *Aerodinamica*, Levrotto e Bella.

MILNE-THOMSON, *Theoretical aerodynamics*, Dover.

Propedeuticità consigliate: Meccanica dei fluidi.

1350

ANALISI MATEMATICA I (per Meccanici, Nucleari e Ambiente)Docenti: **Enrico Obrecht** prof. ord. (Meccanici A-P)**Giovanna Citti** prof. ass. (Meccanici Q-Z, Nucleari, Ambiente)

Finalità del corso. Il corso di analisi matematica, prima e seconda parte, è volto a colmare eventuali differenze nella preparazione matematica ricevuta dagli studenti nella scuola secondaria, ad abituare al ragionamento ipotetico-deduttivo ed a sviluppare quelle conoscenze di base dell'analisi matematica che sono ormai bene assestate ed appaiono sia utili strumenti sia necessarie conoscenze per qualunque ulteriore approfondimento si possa rendere necessario.

Programma

Numeri reali e complessi. Successioni reali e complesse. Funzioni reali e complesse di una variabile reale: limiti e continuità. Le funzioni elementari in \mathbb{R} e in \mathbb{C} . Calcolo differenziale per funzioni di una variabile reale: regole di derivazione, teorema del valor medio, massimi e minimi, teoremi di de l'Hospital, formula di Taylor. Definizione di integrale, teorema fondamentale del calcolo integrale, integrazione per parti e per sostituzione, integrazione delle funzioni razionali e di alcune classi di funzioni non razionali, integrale generalizzato. Interpolazione polinomiale, formule di quadratura. Serie in \mathbb{R} e in \mathbb{C} .

*Testi consigliati:*G. GILARDI, *Analisi I*, McGraw-Hill.J. CECCONI, G. STAMPACCHIA, L.C. PICCININI, *Esercizi e problemi di analisi matematica*, vol. I, Liguori.E. LANCONELLI, E. OBRECHT, *Esercizi di Analisi I*, Pitagora.

1354

ANALISI MATEMATICA IIDocenti: **Enrico Obrecht** prof. ord. (Meccanici A-O)**Giovanni Dore** prof. ass. (Meccanici P-Z, Nucleari, Ambiente)

Scopo del corso: Fornire gli strumenti analitici di base necessari nello studio delle discipline scientifiche e tecniche.

Programma

Limiti, continuità e calcolo differenziale per funzioni reali e vettoriali di più variabili

reali. Estremi relativi liberi e vincolati di funzioni reali di più variabili. Funzioni implicite.

Successioni e serie di funzioni. Serie di potenze. Serie di Taylor.

Misura di Peano-Jordan in \mathbb{R}^n . Integrali multipli. Teoremi di riduzione e di cambiamento di variabili. Integrali multipli generalizzati. Integrali dipendenti da un parametro.

Lunghezza di una curva in \mathbb{R}^n . Integrali curvilinei. Area di una superficie di \mathbb{R}^3 . Integrali di superficie. Teoremi di Green, Gauss e Stokes.

Il problema di Cauchy per le equazioni differenziali ordinarie. Prolungabilità della soluzione locale. Equazioni e sistemi differenziali lineari. Sistemi differenziali lineari a coefficienti costanti.

Testi consigliati:

Sono disponibili delle dispense del corso. Inoltre:

SILOV, *Analisi Matematica. Funzioni di più variabili*, Mir.

COURANT-JOHN, *An Introduction to Calculus and Analysis*, vol. II, J. Wiley.

LANCONELLI-OBRECHT, *Analisi matematica II, Teoria*, Ed. Pitagora.

G. GILARDI, *Analisi II*, McGraw-Hill.

I. CECCONI, G. STAMPACCHI, L.C. PICCININI, *Esercizi e problemi di Analisi matematica*, vol. II, Liguori.

4117

ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI

Docente: **Alessandro Freddi** prof. ord.

Il corso 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:
 - metodi di ottica coerente,
 - estensimetria,
 - 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 il corso sono necessarie conoscenze di Scienza delle costruzioni, Costruzione di macchine e Misure meccaniche.

Testi consigliati:

Dispense del corso.

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.

10382

AZIONAMENTI ELETTRICI (Meccanici)

Docente: **Domenico Casadei** prof. ass.

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. 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.

Programma

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 con 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 topologie 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 costante e con flusso costante. Alimentazione tramite convertitori statici di 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.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica, Controlli Automatici.

L'esame consta di una prova orale.

1358

CHIMICADocenti: **Bruno Fortunato** prof. ass. (Meccanici A-K)**Andrea Munari** prof. ass. (Meccanici L-Z, Nucleari)*Finalità del corso*

Il corso si propone di introdurre le nozioni necessarie per la conoscenza della struttura atomica e molecolare della materia, in relazione alle proprietà chimiche e chimico-fisiche dei materiali e alle loro caratteristiche di utilità applicativo-tecnologiche. Vengono inoltre studiate le leggi fondamentali che governano la dinamica chimica. In particolare si intende dare allo studente la capacità di interpretare i fenomeni chimici che saranno argomento di corsi successivi.

Programma

La struttura atomica della materia. Atomi e molecole. Pesì atomici relativi e assoluti. La mole ed il numero di Avogadro.

Il nucleo atomico. I componenti del nucleo: protoni e neutroni. Il numero atomico e il numero di massa; gli isotopi. Nuclidi stabili e radionuclidi. La legge del decadimento radioattivo. Il difetto di massa: equivalenza massa-energia.

La struttura elettronica degli atomi. Il modello atomico di Bohr. Il principio di indeterminazione di Heisenberg. Le onde di De Broglie. L'equazione di Schrodinger. Rappresentazione di un orbitale. Descrizione della struttura elettronica nello stato fondamentale dei principali elementi. La classificazione periodica degli elementi.

Il legame chimico. Concetti di legame chimico e di energia di legame. Il legame ionico. La valenza ionica. Il legame covalente. Le formule di struttura. Molecole polari ed apolari. Il legame di coordinazione. Gli stati di valenza degli atomi. La teoria degli orbitali molecolari; applicazione alla molecola H_2 e a molecole biatomiche omonucleari. Il legame metallico: il modello a bande. Conduttori e isolanti. I semiconduttori e il loro drogaggio. I legami deboli: il legame a idrogeno; interazioni di Van der Waals.

Le reazioni chimiche. L'equazione stechiometrica e il suo significato. Il numero di ossidazione e suo calcolo. Reazioni di ossidoriduzione e loro bilanciamento.

Gli stati di aggregazione della materia. Lo stato gassoso: il modello del gas ideale e l'equazione di stato dei gas perfetti. I gas reali; il fattore di comprimibilità, l'equazione di Van der Waals. La temperatura critica. Lo stato liquido. Le soluzioni. La solubilità di un gas e di un solido in un liquido. Le soluzioni ideali: la legge di Raoult. Lo stato solido: solidi amorfi e solidi cristallini; il reticolo cristallino e la cella elementare.

Termodinamica. Sistemi termodinamici e variabili di stato. Il primo principio; l'energia interna. L'entalpia. Il secondo principio della termodinamica. L'energia libera di Gibbs. Condizioni di equilibrio per una reazione chimica; l'isoterma di Van't Hoff. Calcolo del rendimento massimo di una reazione e della composizione all'equilibrio. Reazioni eterogenee. Equilibri ionici in soluzione. Soluzioni acide, neutre e basiche: il pH. Acidi e basi secondo Bronsted e Lowry. Le reazioni acido-base. La forza di un acido e quella della sua base coniugata. Calcolo del pH di soluzioni acquose. Cenni sulle soluzioni tampone. Acidi

e basi di Lewis. Specie anfotere. Il prodotto di solubilità.

Equilibri fra fasi diverse. La regola delle fasi. L'equazione di Clausius-Clapeyron; il diagramma di stato dell'acqua e quello di CO_2 . Le proprietà colligative delle soluzioni. Diagrammi di stato a due componenti. I diagrammi termici. La regola della leva. Equilibrio liquido-vapore: diagrammi isoterme e diagrammi isobari.

Elettrochimica. I conduttori ionici ed elettroliti. I potenziali elettrodi e loro origine. Le pile. L'elettrodo standard a idrogeno. L'equazione di Nernst. Le pile di concentrazione. Gli accumulatori al piombo. L'elettrolisi. Il processo di corrosione dei metalli e i diversi metodi di protezione.

Cinetica chimica. La velocità di reazione e le sue diverse definizioni. L'equazione cinetica nella sua forma canonica. Meccanismi di reazione e molecolarità delle reazioni elementari. L'equilibrio chimico da un punto di vista cinetico. Effetto della temperatura sulla velocità di reazione. I catalizzatori: catalisi omogenea ed eterogenea.

Chimica organica. Nomenclatura dei principali composti organici e cenni alle loro proprietà.

Testi consigliati: -

P. CHIORBOLI, *Fondamenti di Chimica*, Ed. UTET, 1976.

R.A. MICHELIN, A. MUNARI, *Fondamenti di Chimica per Ingegneria*, Ed. CEDAM, 1992.

P. MANARESI, E. MARIANUCCI, *Problemi di Chimica per Ingegneria*, Ed. Esculapio, 1992.

R.A. MICHELIN, M. MOZZON, A. MUNARI, *Test ed Esercizi di Chimica*, Ed. CEDAM, 1995.

92

CHIMICA APPLICATA (per Meccanici)

Docente: **Vasco Passalacqua** prof. ass.

Finalità del corso

Formare nell'allievo la capacità di applicare le conoscenze di Chimica ai particolari problemi tecnici che l'ingegnere meccanico dovrà affrontare sia nella gestione dei processi energetici, sia nella utilizzazione dei materiali di interesse per l'ingegneria.

Programma

1 - *Chimica applicata alla produzione di energia*

a) *Combustione e combustibili convenzionali:* studio termodinamico e cinetico della combustione ed esame delle caratteristiche dei combustibili naturali ed artificiali.

b) *Le acque:* proprietà chimiche e fisiche delle acque naturali e trattamenti per renderle atte all'impiego in circuiti di raffreddamento o come acque di alimentazione per caldaie.

c) *Inquinamento idrico ed atmosferico*: normative contro l'inquinamento ambientale; sorgenti di inquinamento nei processi energetici, controllo ed interventi sulle sorgenti e sulle loro emissioni ed immissioni nell'ambiente ricettore.

2 - *Corrosione dei materiali metallici*

a) *Corrosione umida*: aspetti termodinamici e cinetici, morfologia della corrosione e metodi di protezione.

b) *Corrosione secca*: meccanismi di ossidazione delle superfici metalliche, in particolare di quelle in acciaio e metodi di protezione.

3 - *Materiali polimerici*

Polimeri: strutture molecolari e supermolecolari; proprietà chimiche, termiche e meccaniche; processi di polimerizzazione.

a) *Materie plastiche*: i principali tipi di plastomeri e resine termoindurenti; produzione e stampaggio delle materie plastiche.

b) *Gomme*: elastomeri naturali e sintetici; preparazione delle mescole.

c) *Vernici ed adesivi*: preparazione utilizzazione e controlli di qualità.

Propedeuticità consigliate: Chimica.

Testi consigliati:

- 1) GIRELLI, *Trattato di Chimica Ind. ed Applicata*, Zanichelli, Bologna.
- 2) Testi consigliati durante il corso.
- 3) Appunti del Corso.

Svolgimento degli esami

Discussione orale di argomenti svolti nel corso, ed una prova scritta consistente nell'esame guidato di un problema pratico.

Indirizzo della tesi di laurea

Applicativo, in particolare con riferimento alla scelta ed al dimensionamento di massima di specifici processi.

196

CONTROLLI AUTOMATICI (per Meccanici)

Docente: **Giovanni Marro** prof. ord. (inc.)

Finalità del corso

Il corso ha lo scopo di presentare le metodologie fondamentali per l'analisi dei sistemi e la progettazione dei regolatori in retroazione e i principali componenti elettromeccanici ed elettronici utilizzati nei dispositivi di controllo.

Programma:**Lezioni:**

Concetti fondamentali: sistemi e modelli matematici; schemi a blocchi; controlli ad azione diretta e in retroazione.

Analisi nel dominio del tempo: equazioni differenziali e trasformazione di Laplace; risposta all'impulso e integrali di convoluzione; sistemi elementari del primo e del secondo ordine.

Analisi armonica: la funzione di risposta armonica; deduzione della risposta armonica dalla risposta all'impulso e viceversa; diagrammi di Bode, polari e di Nichols.

Proprietà generali dei sistemi in retroazione: definizioni e teoremi relativi alla stabilità; il criterio di Routh; errori a regime e tipo di sistema; il criterio di Nyquist; margini di ampiezza e fase; stabilità dei sistemi con ritardi finiti; luoghi a M costante e a N costante; pulsazione di risonanza, picco di risonanza e larghezza di banda; cenno al metodo del luogo delle radici.

Progetto delle reti correttive: dati di specifica e loro compatibilità; le principali reti correttive a resistenze e capacità; la retroazione tachimetrica; il progetto analitico dei regolatori; i regolatori standard.

Sistemi in retroazione non lineari: stati di equilibrio e stabilità; il metodo della funzione descrittiva; i criteri del cerchio e di Popov; metodo grafico per l'analisi dei sistemi a relè.

Complementi 1 — Elaborazione di segnali: segnali analogici e digitali; il sistema numerico binario e il codice ASCII; il bit e il byte; la trasmissione seriale delle informazioni; l'amplificatore operazionale; circuiti analogici elettronici per la realizzazione di reti correttive e di regolatori standard; l'amplificatore in alternata, il comparatore e l'interruttore elettronico di precisione.

Complementi 2 — Elettronica: i dispositivi elettronici fondamentali: diodo, rettificatore controllato e TRIAC; transistorore bipolare, transistorore ad effetto di campo e MOS; esempi ed applicazioni; uso della parzializzazione nel controllo di potenze elevate.

Complementi 3 — Reti logiche: reti combinatorie e sequenziali; operatori logici booleani: OR, AND e NOT e proprietà fondamentali dell'algebra binaria; semplificazione delle tabelle di verità e mappe di Karnaugh; gli operatori NOR e NAND; la logica cablata e lo stadio 'uscita a tre stati, le EPROM e i codici esadecimali per le tabelle di verità; il flip flop RS e il flip-flop D; i circuiti a scatto e il trigger di Schmidt; cenno al progetto delle reti sequenziali: grafo di flusso, codifica degli stati, realizzazione con flip flop D; cenno alla struttura e al funzionamento dei dispositivi a logica programmabile (PLC).

Complementi 4 — Componenti dei sistemi di controllo: misuratori elettrici di posizione: potenziometro, trasformatore differenziale, microsyn, sincro, resolver, inductosyn, encoder, riga ottica; misuratori elettrici di velocità, accelerazione, forza e temperatura; attuatori: motori in corrente continua per azionamenti, motori bifase e motori passo passo.

Esercitazioni:

Esercitazioni in aula: svolgimento di esercizi e progetti relativi ai sistemi di controllo, come preparazione alla prova scritta.

Esercitazioni in laboratorio: svolgimento di esercizi e progetti in laboratorio informatico mediante il sistema di progettazione assistita TFI (Transfer Function Interpreter),

sviluppato specificamente per l'assistenza didattica e progettuale relativa ai sistemi di controllo.

Modalità di esame: Prova scritta e orale.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica.

Testi consigliati:

G. MARRO, *Controlli automatici*, Zanichelli, Bologna, 1992.

M.E. PENATI, G. BERTONI, *Controlli automatici - Esercizi e test commentati e risolti*, Progetto Leonardo, Bologna, 1994.

201

COSTRUZIONE DI MACCHINE

Docente: **Giorgio Bartolozzi** prof. ord.

Lo scopo dell'insegnamento è quello di dare gli strumenti per l'effettuazione del calcolo e del dimensionamento degli organi delle macchine; premesse alcuni fondamentali sul comportamento meccanico dei materiali, sulla meccanica delle strutture e sulle metodologie di progettazione, si sviluppano i procedimenti di calcolo che permettono di determinare le dimensioni fondamentali dei vari organi delle macchine ed i criteri per il loro proporzionamento nelle varie condizioni di esercizio per giungere alla realizzazione del disegno costruttivo.

Parte prima — Principi di progettazione e costruzione delle macchine

Introduzione — Materiali e loro proprietà sotto sollecitazioni semplici (sollecitazioni statiche, effetto di intaglio, rottura fragile, meccanica della frattura, fatica, deformazione plastica-tensioni residue, scorrimento viscoso) — Materiali e loro comportamento sotto sollecitazioni composte (richiami di meccanica dei continui solidi, teorie di rottura, sollecitazioni statiche, sollecitazioni di fatica, teorie di plasticità, scorrimento viscoso) — Fenomeni tribologici (usura e fatica superficiale, corrosione), risultati della teoria di Hertz — Calcolo e dimensionamento degli elementi delle macchine (a resistenza statica e a fatica, limitando le deformazioni, limitando l'usura superficiale) — Criteri di progettazione (basati sulla riduzione di peso e sulla rigidità) — Metodi numerici e sperimentali nell'analisi delle sollecitazioni (metodo dell'elemento finito, metodo fotoelastico ed estensimetrico) — Complementi di analisi strutturale (analisi delle piastre circolari).

Parte seconda — Calcolo e progetto degli elementi delle macchine

Elementi a grande curvatura — Involucri in parete spessa (problemi di resistenza, tubi blindati e autoforzati) — Involucri in parete sottile (problemi di resistenza e di stabilità,

cenno sui recipienti in pressione) — Dischi rotanti (anello sottile, disco di spessore costante, di uniforme resistenza, dimensionamento corona, metodi di calcolo numerico) — Organi per la trasmissione del moto rotatorio (assi, alberi, perni e cuscinetti a strisciamento e a rotolamento, ingranaggi cilindrici e conici, giunti, innesti) — Collegamenti ed organi di collegamento (viti, chiavette longitudinali e trasversali, linguette e profili scanalati, chiodature, saldature) — Molle (di flessione e di torsione semplici e composte) — Organi dei manovellismi (spinotti, bielle, manovelle ed alberi a gomito).

Propedeuticità consigliate: Meccanica applicata alle macchine, Scienza delle costruzioni, Tecnologia meccanica.

Testi consigliati:

Materiale didattico fornito dal docente

GIOVANNOZZI R., *Costruzione di macchine*, Vol. 1° e 2°, Patron, Bologna.

NIEMANN G., *Elementi di macchine*, Vol. 1°, Springer-Est, Milano.

THOMAS CHARCHUT, *Ingranaggi*, Tecniche nuove, Milano.

PETERSON R.E., *Stress Concentration Factors*. Wiley, New York.

ROARK R.J., YOUNG W.C., *Formulas for Stress and Strain*, Mc Graw Hill Book Co., New York.

NUOVO COLOMBO, *Manuale dell'Ingegnere*, Vol. 1° e 2°, Hoepli, Milano.

ORLOV P., *Fundamentals of Machine Design*, Vol. 1°, 2°, 3°, 4°, 5°, Mir Publishers, Moscow.

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 massima di gruppi meccanici. Metodologie di calcolo degli organi delle macchine. Tesi sperimentali su tematiche di ricerca.

10414

COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE E ROBOT

Docente: **Gabriele Vassura** prof. ass.

Finalità del corso: 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.

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 del corso prevede, oltre al normale numero di ore di lezione, alcune ore settimanali di esercitazioni, visite ad industrie del settore, seminari e conferenze.

Propedeuticità consigliate

Meccanica Applicata alle Macchine, Tecnologia meccanica, Costruzione di macchine.

Testi consigliati:

Appunti redatti dal docente.

Esame orale, comprensivo della discussione del progetto svolto durante le esercitazioni.
Le *tesi di laurea* avranno carattere sia di progettazione che di ricerca.

11164

Costruzione di Macchine II

Docente: **Pier Gabriele Molari** prof. ord.

Il Docente intende approfondire, in accordo e discutendo il programma con gli Allievi, alcuni problemi tipici della Costruzione di macchine, sia per quanto riguarda l'analisi, sia per quanto riguarda la sintesi, anche alla luce degli strumenti di calcolo oggi largamente disponibili.

Un metodo didattico di impostazione di problemi concreti molto vicino alla professione dell'ingegnere costruttore, sia libero professionista, sia dipendente cercherà di rendere attiva la partecipazione degli Allievi al Corso.

Argomenti:

Dalla analisi alla sintesi nella costruzione delle macchine.
Complementi sul calcolo di stati deformativi e tensionali.

Campi tensionali e deformativi assialsimmetrici. Campi tensionali e deformativi in piastre e gusci. Elementi finiti.

Complementi sul calcolo a rottura sotto carichi variabili nel tempo.

Impostazione del calcolo a fatica. Normativa vigente.

Complementi sul calcolo a deformabilità eccessiva.

Il calcolo del campo di spostamenti in campo elastico in piccole e grandi deformazioni.

Normativa vigente.

Complementi sul calcolo a instabilità.

Il calcolo in campo elastico. Normativa vigente.

La sintesi nella costruzione delle macchine (il progetto).

Strumenti. Metodi

Prospettive di una integrazione fra ufficio tecnico e produzione.

Esercitazioni:

Il progetto di una semplice macchina.

La costruzione di semplici programmi di uso corrente per il calcolo e la sintesi delle macchine.

L'uso di programmi commerciali per il calcolo ed il disegno delle macchine.

La costruzione di programmi per l'integrazione U.T. U.P.

10419

DINAMICA E CONTROLLO DELLE MACCHINE

Docente: **Piero Pelloni** prof. ord. (inc.)

Nella prima parte del corso vengono illustrati, con riferimento ad alcune macchine a fluido che gli studenti già conoscono dai precedenti insegnamenti, i fenomeni transitori che si verificano a causa di variazioni di carico e vengono introdotti i concetti fondamentali della regolazione: errore, retroazione, anello di regolazione. Mediante esempi semplici ed intuitivi viene messa in evidenza la possibilità di instabilità del sistema di regolazione.

Nella seconda parte del corso vengono illustrati i metodi matematici elementari per lo studio del comportamento e l'analisi della stabilità e della precisione dei sistemi di regolazione e dei servosistemi (trasformata di Laplace, concetto di funzione di trasferimento, metodo del luogo delle radici).

La terza parte del corso è dedicata alla applicazione dei metodi matematici elementari allo studio di alcuni sistemi di regolazione e servosistemi di particolare interesse per l'ingegnere meccanico (regolazione di macchine termiche, servocomandi idraulici ecc.).

Per poter seguire proficuamente il corso l'allievo deve essere in possesso delle nozioni fondamentali degli insegnamenti di Misure meccaniche, Macchine e Complementi di macchine.

1363

DISEGNO DI MACCHINE (per Meccanici e Ambiente)Docente: **Franco Persiani** prof. ord.

Il corso si propone di analizzare l'aspetto sia funzionale sia costruttivo dei pezzi meccanici e di iniziare l'allievo a dar corpo a macchine semplici.

Si parte così dall'analisi dei vari tipi di disegno: di studio, costruttivo, di montaggio, di accoppiamento ed ingombro, di impianto.

Si approfondiscono i semplici argomenti di tecnologia meccanica accennati nel corso di Disegno, per poter realizzare la quotatura più appropriata, e si insiste sul come migliorare il disegno di un pezzo al fine di semplificarne la costruzione.

Si passa poi a considerare l'aspetto funzionale dei pezzi meccanici e loro intercambiabilità (tolleranze dimensionali e di forma).

Si indaga poi, in modo sistematico, su alcuni elementi fondamentali delle costruzioni meccaniche: collegamenti fissi e scomponibili, cuscinetti a rotolamento, organi di tenuta statici e dinamici.

Noti così gli elementi fondamentali del disegno meccanico, si passa a dare all'allievo le conoscenze fondamentali sugli organi delle trasmissioni meccaniche, sugli organi dei circuiti idraulici e pneumatici e sulle loro rappresentazioni convenzionali. Si eseguono complessivi di macchine rotative ed alternative. A completamento del corso si esegue il disegno di una macchina elementare.

Propedeuticità consigliate: Disegno.

Testi consigliati:

UNI M1, *Norme per il disegno tecnico.*

CONTI, *Disegno tecnologico*, Pitagora.

MANFÈ-POZZA-SCARATO, *Disegno meccanico*, Principato.

CHIRONE, *Disegno Tecnico*, Edisco.

MATOUSEK, *Engineering design*, Blackie.

FARAUDO, *Critica economica del progetto meccanico*, Etas Kompass.

FUNAIOLI, *Lezioni di Macchine Utensili*, Cooperativa Libreria.

MICHELETTI, *Tecnologia meccanica*, Levrotto e Bella.

CAPELLO, *Fonderia*, Signorelli.

PAPULI-COLANTONI, *Manuale dello stampaggio a caldo*, Tamburini.

STRASSER, *Practical design of sheet metal stamping*, Chapman e Hall.

Svolgimento degli esami: L'esame è costituito da una prova grafica e da una prova orale a carattere integrativo. L'esito della prova grafica è vincolante per l'accesso alla prova orale.

DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE (per Meccanici)Docente: **Luca Piancastelli** ricerc. (inc.)*Finalità del corso:*

Il Corso 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.

Programma

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. *Compenetrazione* di solidi. *Sviluppo* delle superfici. *Proiezioni assometriche* 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*. *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, «twist vectors» 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 «superprimitive» - Gestione delle informazioni topologiche e 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* del corso 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).
 MANFÈ, 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.

9268

ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (per Meccanici, Chimici, Ambiente, Nucleari)

Docente: **Andrea Zanoni** prof. ord. (inc.)

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 i principali strumenti economico-finanziari per l'analisi dei fenomeni e per le decisioni e gli elementi di base della progettazione organizzativa, si tratteranno i seguenti argomenti di natura gestionale: il posizionamento competitivo, la formulazione delle strategie, le principali decisioni inerenti le attività di ricerca e sviluppo, marketing, produzione e gestione dei materiali.

Gli argomenti di natura gestionale verranno svolti seguendo il filo logico della vita del prodotto: dal momento dell'ideazione a quello della commercializzazione.

Programma

Il corso si articola in tre parti.

1 - *Rappresentazione, analisi e valutazione dei dati economico-finanziari*

Il bilancio dell'impresa (stato patrimoniale e conto economico). Criteri di riclassificazione dei dati di bilancio. Costruzione di indici per interpretare le situazioni economica, finanziaria e patrimoniale dell'impresa. I costi: calcolo ed utilizzazione per le decisioni. Il punto di pareggio e il margine lordo di contribuzione. Introduzione al budget e al controllo di gestione. Equivalenza finanziaria, attualizzazione e capitalizzazione. Analisi e valutazione degli investimenti.

2 - *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.

3 - *Le decisioni gestionali*

Il settore industriale, definizione ed individuazione delle caratteristiche principali. L'analisi della concorrenza allargata. Le strategie competitive di base. La segmentazione del mercato e il posizionamento dell'impresa. L'innovazione tecnologica e la gestione di ricerca e sviluppo. Le variabili economiche del sistema produttivo e della gestione dei materiali. La commercializzazione del prodotto e la definizione del marketing mix (prodotto, prezzo, comunicazione, distribuzione).

Testi consigliati:

- L. BRUSA, *L'amministrazione e il controllo*, Etaslibri, Milano, 1993.
 L. BRUSA, *Strutture organizzative d'impresa*, Giuffrè, Milano, 1986.
 G. DONNA, *L'impresa competitiva*, Giuffrè, Milano, 1992.
 BREALEY - MYERS, *Finanza aziendale*, McGraw, Milano 1990 (solo i capp. 2-3-5-6).
 M. RISPOLI, *L'impresa industriale*, Mulino, Bologna, 1984 (solo i capp. 4 e 7).
 R. SCHMENNER, *Produzione*, Sole 24 ore, Milano, 1987 (solo il cap. 7).

Per la preparazione della prova scritta, utili riferimenti con esercizi svolti sono in: G. AZZONE, *Economia e organizzazione aziendale: esercizi*, Città Studi, Milano, 1992, terza edizione.

Nella prova scritta NON verranno assegnati, in quanto non svolti durante il corso, gli argomenti di cui agli esercizi nn. 1.7-1.8-1.14-1.20-2.4-2.8-2.13 e dal 3.13 alla fine.

Gli studenti che, non potendo frequentare, dovessero incontrare difficoltà nello studio del bilancio, possono affrontare autonomamente tale tematica in: MAYER-GUGLIELMINI, *Che cosa è e come si legge un bilancio di esercizio*, Petrini, Torino, 1988.

Una copia dei testi citati è disponibile per consultazione sia pressola Biblioteca di Facoltà sia presso il CIEG. Presso il centro di riproduzione della biblioteca di Facoltà è disponibile un programma analitico con l'indicazione di ulteriori letture che potrebbero essere utili per eventuali approfondimenti.

Modalità d'esame

L'esame prevede una prova scritta (esercizio/i sulla prima parte del programma) e una prova orale le cui date verranno fissate in base al calendario della Facoltà e comunicate mediante affissione in bacheca presso il CIEG (Via Saragozza, 8) con congruo anticipo. Come già anticipato nella Guida dello scorso anno, al fine di evitare cambiamenti traumatici, agli studenti con attestazione di frequenza anteriore all'Anno Accademico 1992/93 è consentito portare il programma del loro anno di corso e sostenere l'esame unicamente in forma orale sino alla sessione autunnale della A.A. 1992/93 (entro il mese di Dicembre 1993). A partire dal Gennaio 1994 la prova scritta e il programma sopra esposto debbono intendersi validi per tutti gli studenti che intendono sostenere l'esame.

6794

ELETTROTECNICA (per Meccanici)Docente: **Raffaello Sacchetti** prof. ass.*Finalità del corso.*

Il criterio ispiratore del corso è quello dell'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.

Programma

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; dinamo autoeccitata; motori con eccitazione in parallelo e in serie; caratteristiche mecca-

niche; 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 al corso 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 del corso. L'*esame* si articola di regola in una prova scritta ed in una prova orale.

1367

FISICA I (per Meccanici)

Docenti: **Marco Capponi** prof. ass. (Meccanici A-Q)

Antonio Zoccoli prof. ass. (Meccanici R-Z, Nucleari, Ambiente)

Il corso può dividersi, grosso modo, in tre parti: a) Calcolo vettoriale e cinetica, b) Dinamica, c) Termodinamica.

La prima parte ha essenzialmente lo scopo di creare una base comune di linguaggio e un momento di integrazione fra gli studenti che si iscrivono al primo anno provenendo da scuole dove hanno avuto esperienze anche molto diverse.

Le altre due parti, nell'ambito dei rispettivi argomenti, si propongono essenzialmente di illustrare e chiarificare alcuni concetti e principi fondamentali, discutendone il significato e la portata, mentre le applicazioni, in genere estremamente semplici, vengono presentate esclusivamente per indicare la metodologia di utilizzo dei concetti discussi. In altri termini, il Corso ha lo scopo di fornire agli studenti una certa padronanza di alcuni strumenti concettuali di base, il cui uso estensivo viene lasciato ai corsi più specialistici degli anni successivi.

Programma

a) Calcolo vettoriale e Cinematica.

Vettori liberi e applicati, loro proprietà e rappresentazioni. Operazioni con vettori. Cenni ai campi vettoriali. Gradiente. Cinematica del punto. Velocità. Accelerazione. Descrizioni del moto. Studio di particolari moti. Cinematica dei sistemi rigidi. Problemi di moto relativo.

b) Dinamica.

Concetto di forza e misura di forze. Principio d'inerzia e riferimenti inerziali. Il se-

condo principio e le sue conseguenze. Problemi di moto vincolato. Il terzo principio. Cenni di dinamica dei sistemi rigidi. Lavoro, energia e loro proprietà.

c) Termodinamica.

Temperatura e principio zero. Calore, lavoro e primo principio. Gas ideali. Il secondo principio. Irreversibilità. Entropia.

Testi consigliati:

P. VERONESI, E. FUSCHINI, *Fondamenti di meccanica classica*, Coop. Libr. Un. Bologna.
M.W. ZEMANSKY, *Calore e termodinamica*, Zanichelli, Bologna.

1371

FISICA II (per Meccanici, Ambiente e Nucleari)

Docenti: **Antonio Vitale** prof. ord. (Meccanici A-O)

Antonio Bertin prof. ord. (Meccanici P-Z, Ambiente, Nucleari)

Finalità del corso

Introduzione con *richiami sperimentali* delle leggi fisiche relative a Eletticità, Magnetismo, Onde, Ottica.

Programma

Fenomeni elettrici e magnetici statici.
Fenomeni elettromagnetici dipendenti dal tempo.
Descrizione matematica della propagazione per onde.
Onde elettromagnetiche.
Onde luminose in mezzi isotropi ed anisotropi.
Interferenza.
Diffrazione.

Propedeuticità consigliate: Fisica I.

Testi consigliati:

ALONSO-FINN, *Elementi di Fisica per l'Università*, vol. II, Edizione Bilingue, Addison Wesley.

In parallelo al corso vengono tenute lezioni di «Problemi di Fisica II».

A seconda delle circostanze l'esame sarà preceduto da una prova scritta oppure problemi analoghi potranno essere discussi, tra le altre domande, all'esame orale.

6796

FISICA TECNICADocente: **Sandro Salvigni** prof. ord.*Finalità del corso*

Il corso si propone di fornire i criteri con cui affrontare lo studio energetico delle macchine e dei sistemi sia esaminando le principali trasformazioni termodinamiche fra forme diverse di energia (termica e meccanica), sia fornendo gli elementi di base della Fluidodinamica e della Termocinetica necessari a comprendere i meccanismi di trasporto di alcune forme di energia.

Programma

Termodinamica — La termodinamica del sistema: impostazione del problema. Richiami sul primo e sul secondo principio della termodinamica per sistemi chiusi e sulle grandezze termodinamiche. Teorema dell'aumento dell'entropia. Funzioni disponibili ed exergia (*). 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. Equazioni di Van der Waals. Legge degli stati corrispondenti. Gas reali. Diagramma entropico (T, s). Diagramma entalpico (h, s). Diagramma pressione entalpia (p, h). Diagramma temperatura entalpia (T, h). Miscele di gas perfetti. Miscele di gas reali. Miscele di gas e vapori. Miscele di aria e vapor d'acqua. Diagrammi (J, x). Misura del grado igrometrico. Sistema aperto. Bilancio delle masse. Il primo principio della termodinamica per sistemi aperti. Osservazioni ed applicazioni. Il bilancio dell'energia meccanica. Il secondo principio e il sistema aperto.

Fluidodinamica — Elementi di fluidodinamica: generalità. Aspetti fisici del moto di un fluido. Viscosità. 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. 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 e mista: casi particolari. Metalli liquidi: cenni. Convezione nei fluidi eterogenei: cenni. L'irraggiamento: generalità. Definizioni. Le leggi dell'irraggiamento. Scambio di energia tra superfici infinite. Scambio di energia tra superfici finite. La contemporanea presenza di diverse modalità di scambio: generalità. Convezione ed irraggiamento. Coefficiente globale di scambio termico. Superfici alettate.

N.B. gli argomenti contrassegnati da (*) sono reperibili in fotocopie disponibili presso

l'Istituto di Fisica Tecnica, mentre per la rimanente parte del programma si fa riferimento al volume del Prof. A. COCCHI «Termofisica per Ingegneri» della libreria Ed. Petroni.

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, Libreria Ed. Petroni.

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 sia applicativo, con riferimento alle applicazioni illustrate durante le esercitazioni.

Indirizzo delle tesi di laurea

- Ricerca di base in approfondimento agli argomenti teorici svolti durante il corso.
- Indirizzo applicativo nel campo dell'acustica e della progettazione termotecnica.

9730

FONDAMENTI DI INFORMATICA

Docenti: **Anna Ciampolini** ricerc. (inc.) (Meccanici A-O)

Araldo Chiarini prof. ass. (Meccanici P-Z, Chimici)

Scopo del corso:

- Fornire uno strumento di approccio logico alla risoluzione di problemi.
- Mettere a disposizione un linguaggio di programmazione (il linguaggio C) per la traduzione degli algoritmi di risoluzione in programmi per il calcolatore.
- Analizzare i problemi di calcolo numerico di maggior interesse ed approfondire gli algoritmi che li risolvono.

Programma

— Elementi di programmazione:

Struttura generale di un calcolatore elettronico. Cos'è un sistema operativo (esemplificazione con MS-DOS). La rappresentazione interna dei numeri e gli errori. Metodi per l'analisi di un problema. Definizione, proprietà e rappresentazione degli algoritmi di risoluzione. I linguaggi di programmazione. Dai linguaggi macchina a quelli di alto livello. La programmazione strutturata. Strutture dei dati. Cenni alle tecniche per la gestione di tabelle, liste, pile, code, alberi, grafi.

— Il linguaggio C:

Alfabeto e sintassi del C. Tipi di dato scalari e strutturati. Espressioni. Dichiarazione di costanti, variabili e loro tipo. Assegnamento. Funzioni di ingresso/uscita. Istruzioni com-

poste, condizionali e cicli. L'istruzione di salto incondizionato. Funzioni e procedure. Tecniche di passaggio dei parametri. Regole di visibilità e tempo di vita. Il modello a tempo di esecuzione del C. Librerie standard. Gestione dei file. Modularità in C. Puntatori e strutture dati dinamiche in C.

— Elementi di calcolo numerico:

Interpolazione (metodo polinomiale, delle differenze divise, dei minimi quadrati). Zeri di una funzione (metodo di bisezione, delle tangenti, delle corde). Inversione di una matrice quadrata. Soluzioni di sistemi di equazioni lineari (metodo di Gauss, di Gauss-Jordan). Calcolo degli integrali (metodo dei trapezi, di Simpson). Metodi per la soluzione numerica di equazioni differenziali (metodo di Eulero, di Eulero modificato, di Runge-Kutta).

Testi consigliati:

S. CERI, D. MANDRIOLI, L. SBATELLA, *Informatica Istituzioni/ANSI C*, McGraw Hill, 1994.

Per Elementi di calcolo numerico:

G. MONEGATO, *Fondamenti di Calcolo Numerico*, Levrotto e Bella, Torino.

Altri testi di ausilio e consultazione:

B.W. KERNIGHAN, D.M. RITCHIE, *Linguaggio C*, Gruppo Editoriale Jackson.

C. BATINI, L. CARLUCCI AIELLO, M. LENZERINI et al., *Fondamenti di programmazione dei calcolatori elettronici*, Franco Angeli, 1990.

9757

GEOMETRIA E ALGEBRA

Docenti: **Flavio Bonetti** prof. ass. (Meccanici A-O)

Giuliano Parigi ricerc. (inc.) (Meccanici P-Z, Nucleari, Ambiente)

Il corso ha lo scopo di destare una sensibilità geometrica negli studenti e di fornire loro le nozioni e gli strumenti che saranno utilizzati nei corsi applicativi.

Programma

Algebra (Insiemi — Applicazioni — Strutture — Elementi di algebra delle matrici. Cenni di calcolo combinatorio — Determinanti. Sistemi di equazioni lineari — Polinomi ed equazioni algebriche in una variabile).

Geometria (Lo spazio euclideo, affine e proiettivo ad n dimensioni — Geometria analitica affine ed euclidea del piano. Studio delle curve — Geometria affine ed euclidea dello spazio ordinario. Studio delle curve e delle superfici — Teoria delle coniche nel piano proiettivo, affine ed euclideo — Alcuni cenni sulla teoria delle quadriche).

Elementi di geometria differenziale delle curve e delle superfici.

Nozione di contatto fra curve, fra curve e superficie e fra due superfici.

Curve piane (punti semplici, punti multipli, retta tangente, flessi, cerchio osculatore, curvatura).

Curve nello spazio ordinario (punti semplici, punti multipli, retta tangente, piano osculatore, cerchio osculatore, flessi triedro principale, flessione e torsione).

Superficie (punti semplici, punti multipli, piano tangente, tangenti asintotiche, classificazione dei punti, flessione delle curve della superficie, raggi principali di curvatura, curvatura totale e curvatura media).

Testi consigliati:

- 1) M. VILLA, *Elementi di algebra*, Patron, 1969.
- 2) M. VILLA, *Lezioni di geometria per gli studenti dei Corsi di Laurea in Fisica ed Ingegneria*, seconda ed., Cedam, 1972.

L'esame è costituito da una prova scritta e da una prova orale.

10420

IMPIANTI INDUSTRIALI

Docente: **Arrigo Pareschi** prof. ord.

Programma

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, ed alla realizzazione degli impianti industriali.

Esso si articola nelle seguenti parti:

1 — Criteri generali di scelta degli impianti meccanici

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 della iniziativa.

2 — Progettazione e realizzazione degli impianti meccanici

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 pro-

grammi 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 — *Gestione degli impianti industriali meccanici*

Criteri e tecniche di pianificazione e controllo della produzione (MRP, JIT). La gestione dei materiali e dei magazzini. Tipi di manutenzione: preventiva, predittiva, a guasto. Politiche di manutenzione.

4 — *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, trasloelevatori, etc...). La fabbrica come sistema integrato di produzione (CIM).

Testo consigliato:

A. PARESCI, *Impianti industriali*, Esculapio Progetto Leonardo, Bologna, 1994.

515

IMPIANTI MECCANICI

Docente: **Sergio Fabbri** prof. ord.

Programma

Il corso si propone di fornire i criteri generali della progettazione tecnica ed economica degli impianti meccanici, con riferimento ai relativi processi produttivi, considerandoli come sistemi organici di più impianti elementari e ricorrenti, dei quali vengono trattati principi teorici, schemi generali, adozione dei componenti, metodi di progettazione ed ottimizzazione, norme e regolamenti.

Esaminati gli impianti per la movimentazione dei fluidi ed i relativi componenti, quali pompe, tubazioni, accessori vari e protezioni, si passa alla trattazione degli impianti di approvvigionamento, trattamento e distribuzione delle acque. Si considerano quindi gli impianti per il servizio dei combustibili e quelli per la depurazione degli scarichi industriali. Lo studio prosegue con gli impianti destinati allo sviluppo, al trasporto ed allo scambio di energia termica, fornendo i criteri di scelta dei generatori e gli scambiatori di calore, nonché i metodi di progettazione delle condotte. In questo ambito si considerano in particolare gli impianti frigoriferi, quelli di condizionamento e di riscaldamento ambientale, nonché gli impianti di evaporazione ed essiccamento, i forni industriali e di incenerimento. Per quanto riguarda la produzione di energia si esaminano in particolare gli impianti a gas, quelli a vapore a condensazione e a ricupero (per la produzione combinata di energia elettrica e termica in dipendenza di vari processi industriali), ed i gruppi con motori a combustione interna, facendo nel contempo un cenno ai problemi della trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica e meccanica (mediante aria compressa ed olio in pressione). La trat-

tazione degli impianti per il trasporto, sia meccanico che pneumatico, e l'accumulo dei materiali solidi completa il corso.

Propedeuticità consigliate: Fisica Tecnica, Meccanica applicata, Macchine, Complementi di macchine, Chimica applicata, Idraulica, Elettrotecnica, Misure meccaniche.

Testi consigliati:

S. FABBRI, *Impianti meccanici*, Ed. Patron, Bologna.

S. FABBRI, *Elementi di impiantistica meccanica - Aria ed acqua*, Ed. Pitagora, Bologna.

4766

IMPIANTI SPECIALI

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.

Esami: L'esame consta di una prova orale.

INTERAZIONE FRA MACCHINE E AMBIENTE

(v. Corso di Laurea in Ambiente e Territorio)

10269

LOGISTICA INDUSTRIALE

Docente: Arrigo Pareschi prof. ord. (inc.)

Finalità del corso

Il corso, obbligatorio per l'indirizzo Automazione ind.le e robotica, si propone di fornire i criteri generali e i metodi quantitativi che presiedono alla scelta, alla progettazione ed alla gestione dei sistemi automatici di fabbricazione, assemblaggio, movimentazione e stoccaggio dei materiali nella moderna fabbrica flessibile.

Programma

1. La logistica industriale come automazione dei flussi fisici e dei flussi informativi nell'industria manifatturiera e di processo.

2. Automazione flessibile del processo produttivo come risposta alle variazioni del mercato.

3. Automazione delle attività di produzione (di fabbricazione e di assemblaggio) e del flusso dei materiali. - Sistemi automatici e flessibili di fabbricazione (FMS), celle e linee robotizzate. - Sistemi automatici e flessibili di assemblaggio (FAS), sistemi robotizzati, stazioni di collaudo automatico. - Automazione del flusso dei materiali (movimentazioni e confezionamento). - Sistemi automatici di trasporto interno (sistemi AGV con carrelli filoguidati o navette su rotaia). - Problematiche di controllo e sicurezza nei sistemi di trasporto AGV. - Automazione dei magazzini mediante l'impiego di mezzi automatici di stoccaggio (trasloelevatori).

4. Automazione dei flussi informativi. - Controllo automatico del processo produttivo. - Funzioni fondamentali di controllo di FMS, FAS, e sistemi AGV. - Gestione automatica dei magazzini. - Approvvigionamento e gestione automatica dei materiali mediante il metodo MRP e tecniche giapponesi JIT. - Tecniche automatiche di pianificazione, programmazione e controllo della produzione.

5. Integrazione gestionale del sistema produttivo (CIM).

6. Sicurezza dei sistemi logistici automatizzati.

7. Valutazione della convenienza economica di investimenti nel campo dell'automazione logistica dei sistemi produttivi.

8. Linee di tendenza dell'automazione nei sistemi produttivi.

Testi consigliati:

Dispense redatte dal docente.

A. PARESCHI, *Impianti industriali*, Esculapio, Progetto Leonardo, Bologna, 1994.

M. BOARIO, M. DE MARTINI, E. DI MEO, G.M. GROS-PIETRO, *Manuale di Logistica*, UTET, Torino, 1992, Voll. 1-2-3.

J. MORTIMER, *Logistics in manufacturing*, Ed. IFS Ltd, UK/Springer Verlag, 1988.

R.H. HOLLIER, *Automated guided vehicle systems*, IFS (Publications) Ltd., Bedford (UK), 1987.

- R.J. TERSINE, *Principles of inventory and materials management*, Ed. North-Holland, 1982.
- C.A. VOSS, *Just-in-time manufacture*, Ed. IFS Ltd., UK/Springer Verlag, 1987.
- R. HALL, *Obiettivo: scorte zero*, Ed. ISEDI, Milano, 1986.
- Y. MONDEN, *Produzione Just-in-time*, Ed. ISEDI, Milano, 1986.
- D. DEL MAR, *Operations and industrial management*, McGraw-Hill, 1985.
- R.J. TERSINE, *Production/operations management*, North Holland, New York, 1985.
- A. BRANDOLESE, A. POZZETTI, A. SIANESI, *Gestione della produzione industriale*, HOEPLI, Milano, 1991.
- E. MASTURZI, *Organizzazione e gestione della produzione industriale*, Liguori Editore, 1990.
- A. MONTE, *Elementi di Impianti Industriali*, Edizioni Libreria Cortina, Torino, 1982, Voll. 1-2.

Indirizzo della tesi di Laurea: applicativo-progettuale o di ricerca su tematiche della logistica dei sistemi produttivi.

2078

MACCHINE I

Docente: **Giorgio Negri di Montenegro** prof. ord.

Il corso tratta le fonti di energia termica e convenzionale, combustibili solidi, liquidi e gassosi, la combustione ed i generatori di vapore convenzionali, utilizzando le dette fonti di energia. Vengono anche richiamate le fonti di energia ed i generatori di vapore 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.

Il corso di lezioni viene completato da esempi ed esercizi numerici.

Necessarie premesse del corso, oltre le nozioni matematiche di base, sono: la Fisica (meccanica e termodinamica), la Meccanica applicata alle macchine e la Fisica tecnica.

667

MACCHINE IIDocente: **Giorgio Minelli** prof. ord.*Finalità del corso:*

Oggetto del corso è lo studio dei motori a combustione interna (alternativi e turbogas) 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 fluidodinamico.

Programma

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) e delle pompe centrifughe e volumetriche. Le curve caratteristiche. La similitudine nelle macchine idrauliche. I problemi di cavitazione. I recuperi energetici con turbine idrauliche: le miniturbine e le macchine reversibili.

Motori a combustione interna: generalità, cicli ideali e reali, studio teorico e criteri di proporzionamento dei motori alternativi. Combustione e condizioni di limite di funzionamento nei motori ad accensione per compressione e comandata. La sovralimentazione. Limiti progettuali derivati dal contenimento delle emissioni allo scarico.

Cicli delle turbine a gas con e senza recupero, aperti e chiusi. Studio teorico e confronti anche in relazione agli specifici impieghi. Le turbine a gas per impiego aeronautico.

Propedeuticità consigliate: Fisica tecnica, Idraulica, Macchine.

Testi consigliati:

- 1) G. MINELLI, *Macchine idrauliche*, Pitagora.
- 2) G. MINELLI, *Turbine a gas*, Pitagora.
- 3) G. MINELLI, *Motori endotermici alternativi*, Pitagora.
- 4) D. GIACOSA, *Motori endotermici*, Hoepli.
- 5) C.F. TAYLOR, *The Internal Combustion Engine*, Wiley.
- 6) M.J. ZUCROW, *Aircraft and Missile Propulsion*, Vol. I, Wiley.
- 7) L. VIVIER, *Turbines Hydrauliques*, Albin Ed.

L'*esame* è costituito da una prova orale.

Indirizzo delle tesi di laurea:

- 1) — Dimensionamento termofluidodinamico di macchine e di loro componenti.
- 2) — Sperimentazioni su macchine e su loro componenti.

670

MACCHINE UTENSILIDocente: **Orio Zurla** prof. ass.

Il corso si prefigge lo scopo di fornire agli allievi ingegneri meccanici una conoscenza, per quanto possibile critica, dei principali processi ad asportazione di truciolo impiegati nella prassi industriale.

Particolare attenzione è riservata alla discussione dei criteri che consentono di stabilire una sequenza logica delle operazioni e delle fasi di lavorazione necessarie per trasformare un grezzo, o un semilavorato, in un prodotto finito.

Programma

Una breve introduzione mette in rilievo quali sono i principali componenti che costituiscono il sistema Macchina utensile e l'inserimento di questa nel processo produttivo.

Segue un esame teorico-pratico del meccanismo del taglio dei metalli con utensili a punta singola in taglio libero ed ortogonale (o bidimensionale) e l'influenza su di esso delle variabili tecnologiche. Viene successivamente indicato il procedimento per estendere i risultati precedenti a condizioni di taglio tridimensionale (od obliquo) con esempio di applicazione al caso della tornitura.

Questa prima parte si conclude con l'analisi delle caratteristiche dei principali materiali per utensili, delle caratteristiche di taglio e della loro scelta in base a criteri tecnico-economici.

Nella seconda parte del corso vengono trattate le macchine utensili convenzionali, gli utensili in esse impiegati e le lavorazioni da esse effettuabili.

A completamento di questa parte si affronta lo studio delle attrezzature di montaggio e di lavoro, dei loro principali componenti e dei comandi meccanici, oleodinamici ed elettrici delle macchine utensili.

La terza parte del corso è dedicata all'analisi dei sistemi produttivi più recenti quali Macchine Utensili a controllo numerico, centri di lavorazione, sistemi di lavorazione integrati flessibili.

Le nozioni propedeutiche necessarie riguardano argomenti trattati nei corsi di Tecnologia Meccanica, Costruzione di Macchine e Meccanica Applicata alle Macchine.

Testi consigliati:

E. FUNAIOLI, *Lezioni di Macchine Utensili*, Ed. Cooperativa Libreria Universitaria Bologna.

O. ZURLA, *Appunti di macchine utensili*, Ed. Cooperativa Libreria Universitaria Bologna. Dispense approvate dal docente.

Appunti integrativi distribuiti dal docente.

Testi di consultazione:

A. ANDRISANO, W. GRILLI, *Esercitazioni di macchine utensili*, Ed. Pitagora, Bologna 1981.

- F. GRIMALDI, *CNC Macchine utensili a Controllo Numerico*, Ed. V. Hoepli, Milano, 1994.
 G.F. MICHELETTI, *Tecnologia Meccanica*, Voll. 1 e 2, Ed. UTET, Torino, 1979
 M. FLEGO, *L'Impiego del Controllo Numerico nella Produzione Meccanica*, Ed. F. Angeli, Milano.
 G. HENRIOT, *Ingranaggi*, Vol. 2°, Ed. Tecniche Nuove, Milano.
 MILTON C. SHAW, *Metal Cutting Principles*, Clarendon Press, Oxford, 1989.
 UNI M3, *Norme per gli utensili che lavorano con asportazione di truciolo*.

L'*esame* consiste in una prova scritta articolata in quattro domande ad ognuna delle quali verrà valutata in /30.

Una di queste prove concerne abitualmente la stesura di un ciclo di lavorazione secondo modalità precisate nel testo, le altre tre sono relative ad argomenti oggetto del programma d'esame.

Le *esercitazioni* sono orientate al completamento e all'approfondimento degli argomenti svolti durante il corso.

L'indirizzo delle *tesi di laurea* è prevalentemente applicativo, con particolare riferimento all'analisi dei sistemi produttivi e alla progettazione di attrezzature, macchine, o parti di esse, impiegate nelle lavorazioni ad asportazione di truciolo.

687

MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE

Docente: **Umberto Meneghetti** prof. ord.

Il corso 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.

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. 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 rotoidale 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 articolati 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; relazione fra i momenti; rotismi differenziali. e) Organi flessibili. Impiego degli organi flessibili nelle macchine di sollevamento. Trasmissione del moto con cinghie piatte e trapezoidali. 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) Vibrazioni di aste e travi. f) Severità di vibrazione delle macchine. Manutenzione, monitoraggio e diagnostica industriale. g) 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*, Patron, Bologna, Voll. 1 e 2.

Propedeuticità: Meccanica razionale.

L'esame è costituito da una prova orale. Le *esercitazioni*, che si svolgono parallelamente al corso, o trattano, esemplificandoli, argomenti del corso, o completano argomenti importanti che nel corso possono essere solamente introdotti. La materia trattata dalle esercitazioni è materia di esame.

4294

MECCANICA DEI FLUIDI (per Meccanici)

Docente: **Alberto Lamberti** prof. ord.

Il corso 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.

Nel corso si impartiscono al fine di utilizzazioni pratiche, le nozioni di meccanica tecnica dei liquidi.

Programma

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. RUBATA, *Meccanica dei Fluidi*, Ed. Hoepli.

A. GHETTI, *Idraulica*, Ed. Cortina, Padova.

STREETER, *Fluid mechanics*, McGraw H ill 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.

Tesi di laurea: Problemi di interazione fra correnti e mezzi granulari.

Esami orali.

10415

MECCANICA DEI ROBOT

Docente: **Vincenzo Parenti Castelli** prof. ord. (inc.)

Il corso 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.

Programma

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 trasla-

zioni 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.

Il corso 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 del corso è data la possibilità di svolgere, oltre alle esercitazioni sopra indicate, brevi tesi attinenti al corso stesso. Tali tesi potranno eventualmente venire sviluppate come tesi di laurea.

Degli argomenti sviluppati durante il corso viene data ampia bibliografia.

Propedeuticità consigliata: Meccanica applicata alle macchine.

Esame: Consiste in una prova orale.

Tesi di laurea: prevalentemente sperimentali, ma anche numeriche o compilative, su argomenti trattati nel corso o su argomenti affini.

4710

MECCANICA DELLE VIBRAZIONIDocente: **Umberto Meneghetti** prof. ord. (inc.)

Il corso 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 successivamente ne vengono illustrate le principali applicazioni tecniche.

Programma

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. Metodi di Rayleigh.

Sistemi a due g.d.l. Vibrazioni libere. Scrittura matriciale delle equazioni del moto. Considerazioni sulle matrici massa e rigidità. Vibrazioni forzate. Smorzatore dinamico.

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. Metodo di Ritz. Vibrazioni delle membrane.

Modellazione. Modelli a 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.

4. Monitoraggio e diagnostica

Severità di vibrazione.

Monitoraggio e diagnostica industriale.

5. Analisi modale

Metodologia e scopi. La Funzione Risposta in Frequenza. Rilievo delle FRF. Determinazione dei parametri modali. Applicazioni.

6. Complementi ed applicazioni

Il metodo degli elementi finiti. Effetti delle vibrazioni sull'uomo. Modellazione e analisi cinetoelastodinamica di meccanismi. Identificazione. Sospensioni. Dinamica dei rotori.

1379

MECCANICA RAZIONALEDocenti: **Barbara Lazzari** prof. ass. (Meccanici A-O)**Mauro Fabrizio** prof. ord. (Meccanici P-Z, Nucleari, Ambiente)*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 ed 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 Poincaré. 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 applicazioni. Energia cinetica di un sistema olonomo. Teorema delle forze vive per un sistema olonomo a vincoli fissi. Metodo dei moltiplicatori di Lagrange ed equazioni di Appel 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*, Patron, Bologna.

G. GRIOLI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Cortina, Padova.

A. STRUMIA, *Lezioni di Meccanica Razionale*, CUSL, Bologna.

Esercizi:

BAMPI, BENATI, MORRO, *Problemi di Meccanica Razionale*, Ecig, Genova.

D. GRAFFI, *Esercizi di Meccanica Razionale*, Patron, Bologna.

MURACCHINI, RUGGERI, SECCIA, *Laboratorio di Meccanica Razionale*, Esculapio, Bologna.

Propedeuticità consigliate: Analisi matematica I e II, Geometria ed Algebra, Fisica I.

1140

MISURE MECCANICHE E TERMICHE

Docente: **Giorgio Minelli** prof. ord. (inc.)

Il corso 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.

Programma:***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.

Propedeuticità consigliate: Fisica tecnica, Idraulica.

Testi consigliati:

- 1) G. MINELLI, *Misure Meccaniche*, Patron.
- 2) DOEBELIN, *Measurement System*, 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.

Tesi di Laurea: 1) Studio di strumenti e di apparati di misura. 2) Circuiti di collaudo di macchine.

10416

ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE E DEI SISTEMI LOGISTICI

Docente: **Giorgio Bartolozzi** prof. ord. (inc.)

Finalità del corso

È quella di dare, tenuto anche 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 la 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 estesa dei tipi di lay-out 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. Analisi di caso aziendale ed interventi per la riduzione del tempo del ciclo d'ordine da offerta a consegna del prodotto finito.
- 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. Sviluppo di dettaglio di Sistemi di Qualità. Dimensionamento di interventi per il miglioramento della qualità. Pianificazione e programmazione di interventi di miglioramento della qualità. Strutture organizzative. 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 (equiponderali 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 del 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 Monostradio con macchine di parallelo (frazionamento Job consentito od impedito), sistemi pluristadio tipo flow-shop (criterio di Johnson e derivati), sistemi pluristadio tipo job-shop. Soluzioni di casi reali.
 - 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 similari 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 infinita 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).
- Evoluzione dei sistemi MRP ed approfondimento dei sistemi MRP 2.
- Gli approvvigionamenti: logiche, rilevanza nella gestione aziendale, evoluzione della funzione degli approvvigionamenti. Le politiche: del prodotto, delle fonti di approvvigionamento, del prezzo, della comunicazione. Approvvigionamenti e scorte. Il controllo della funzione degli approvvigionamenti. Approvvigionamenti JIT. Approvvigionamenti e nuove tecnologie.

Propedeuticità consigliate: Economia ed organizzazione aziendale.

Testi consigliati:

- A. GRANDO, *Organizzazione e Gestione della Produzione Industriale*, EGEA.
 ROGER W. SCHMENNER, *Produzione: scelte strategiche e gestione operativa*, Il Sole 24 ORE.
 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.

11352

PRINCIPI E METODOLOGIE DELLA PROGETTAZIONE MECCANICA

Docente: **Alessandro Freddi** prof. ord. (inc.)

Il corso si propone lo studio della impostazione, sviluppo e gestione del progetto concettuale delle macchine nei suoi aspetti funzionale, produttivo, economico.

A questo fine il Corso 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.

Il corso, 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 del corso.

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.

11171

PROGETTAZIONE DI SISTEMI DI TRASPORTO

Docente: **Mario Matassa** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile)

886

SCIENZA DEI METALLIDocente: **Giorgio Poli** prof. ass.*Finalità:*

Studio dei materiali metallici in relazione al loro comportamento in esercizio. Scelta ed uso corretto dei materiali nella progettazione di impianti meccanici.

Programma

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 il corso 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.

L'esame è costituito da una prova orale.

Testi consigliati:

- 1) Dispense del corso.
- 2) W. NICODEMI, *Metallurgia*, Ed. Masson.

Sono disponibili tesi, sia di tipo sperimentale che compilativo, su vari argomenti che si collegano a quanto trattato nel corso.

6801

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (per Meccanici)Docente: **Erasmus Viola** prof. ord.*Finalità del corso*

Il corso si propone di fornire i concetti di base della meccanica dei solidi e le metodologie per l'analisi strutturale e le relative verifiche.

Programma

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, matriviale 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-Mitechell), 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 «crack» 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.

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.

10421

SERVIZI GENERALI DI IMPIANTO

Docente: **Gianfranco Coli** prof. ass.

Parte I - Considerazioni economiche relative agli impianti esaminati

Tasso di rendimento interno dell'investimento incrementale. Equivalente annuo, periodo di recupero. Aumento annuo di costo dei combustibili. Soluzioni funzione di una sola variabile.

Parte II - Impianti con risparmio e per il recupero di energia

Produzione combinata d'energia elettrica e termica. Centrali termoelettriche a contropressione. Centrali con motori a combustione interna. Centrali turbogas. Esempi. Impianti integrativi. Pompe di calore. Impianti solari. Esempi. Recupero termico: a scambiatore statico, a scambiatore rotante ad accumulo, da fumi.

Parte III - 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. Esempio.

Parte IV - Impianti per il benessere e la sicurezza negli ambienti di lavoro

Impianti di riscaldamento. Calcolo potenzialità termica e relative disposizioni legislative. Centrali e reti distribuzione acqua calda. Esempi. Impianti di climatizzazione. Calcolo potenzialità frigorifera. Trasformazioni psicrometriche principali. Macchine per la produzione d'acqua refrigerata. Esempi. Impianti di ventilazione. Determinazione della portata d'aria. Impianti di termoventilazione. Calcolo dei canali d'aria. Ventilatori e loro scelta. Aspirazione polveri, vapori e gas. Esempio. 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 di 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. Prevenzione incendi. Disposizioni legislative. Caratteristiche e classifica degli incendi. Prevenzione. Protezione attiva. Illuminazione. Emissione dell'energia radiante. Grandezze fotometriche ed illuminanti raccomandati. Riflessione, assorbimento e trasmissione della luce. Sorgenti luminose. Apparecchi illuminanti. Fondamenti tecnici d'illuminazione. Calcolo di progetto d'impianti d'illuminazione. Esempi.

Testi consigliati:

G. COLI, *Impianti energetici ad elevato rendimento*, Ed. PEG, Milano (Parti I-II).

G. COLI, *Impianti per il benessere e la sicurezza dell'ambiente di lavoro*, Ed. PEG, Milano (Parte IV).

Appunti dalle lezioni (Parte III).

6776

SISTEMI DI TRAZIONE (Meccanici, Civili, Elettrici)

Docente: **Mario Matassa** proc. ass. (inc.)

Finalità del corso

Il corso si propone di approfondire, soprattutto sul piano progettuale, i problemi relativi ai vari tipi di trazione, elettrica e termica, già trattati in generale nel corso di Progettazione di sistemi di trasporto, per quanto riguarda sia i mezzi di trazione sia gli impianti fissi. Il corso viene integrato da esercitazioni svolte in aula.

Programma

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.

Esami: orali, con presentazione e discussione delle esercitazioni svolte.

Testi consigliati:

A. ORLANDI, *Meccanica dei Trasporti*, Ed. Pitagora, Bologna.

F. PERTICAROLI, *Trazione Elettrica*, Ed. CLUP, Milano.

Appunti delle lezioni forniti dal docente.

Tesi di laurea: studi e progetti relativi a sistemi di trazione stradale e ferroviaria.

4146

STRUMENTAZIONE INDUSTRIALE

Docente: Cesare Saccani prof. ass.

Il corso si propone di fornire la conoscenza ed i criteri di corretto impiego di strumenti, metodi ed apparecchiature di misura applicati ai processi industriali.

Programma

Si studiano dapprima criteri generali per l'impiego di singoli strumenti e per la corretta realizzazione di catene di misura.

Si analizza quindi la strumentazione più in uso nell'industria per la trasmissione a distanza e la registrazione delle misure e si discutono i problemi della centralizzazione dei dati.

Vengono inoltre introdotti metodi ed apparecchiature di misura industriali di diverse grandezze fisiche a completamento ed approfondimento delle nozioni acquisite nel corso di Misure Meccaniche.

Con riferimento alle normative ed alle procedure di collaudo dei fondamentali impianti meccanici, si esaminano le tecniche non distruttive e di inserimento di strumenti non previsti in precedenza, atte a minimizzare i disturbi nella gestione degli impianti.

Vengono infine considerate le apparecchiature e i metodi più idonei per le indagini relativi all'energy saving.

Testi consigliati:

Dispense di strumentazione industriale.

11173

STUDI DI FABBRICAZIONE

Docente: **Giovanni Tani** prof. ass.

Programma

Sintesi delle principali lavorazioni meccaniche.

I principali fattori della produzione metalmeccanica.

Sistemi di produzione per lotti ed a flusso continuo in piccole medie e grandi serie.

I livelli di automazione nelle lavorazioni meccaniche: macchine in linea o per centri, macchine speciali, macchine a trasferimento, alimentazione dei posti di lavoro, montaggio e smontaggio pezzi sulle macchine utensili, dispositivi di orientamento pezzi, le macchine a controllo numerico nella loro applicazione stand-alone e nel loro impiego in celle flessibili, applicazione gestione e controllo delle linee flessibili.

Automazione rigida ed automazione flessibile nei montaggi. Lavorazioni meccaniche non convenzionali: elettroerosione a tuffo ed a filo, superfinitura, lavorazioni mediante taglio ossiacetilenico, a plasma e laser.

Collaudi delle macchine utensili convenzionali ed a controllo numerico, normative nazionali ed internazionali.

Collaudo e controllo dei pezzi lavorati, il controllo qualità in produzione, cenni sulla qualità totale.

Integrazione tra progettazione e produzione, analisi dal punto di vista produttivo del progetto del prodotto da fabbricare: il «Design for Manufacturing» ed il «Design for Assembly».

Il «Group Tecnology» e le lavorazioni per famiglie di pezzi. Cicli di lavorazione e process planning automatizzato. Determinazione dei materiali direttamente impiegati nella produzione. Archivi macchine ed utensili, archivi tecnologici. Attrezzature meccaniche per la produzione, officina attrezzeria, «tool room». Determinazione dei tempi di lavorazione. Determinazione del fabbisogno di mano d'opera diretta. Contabilizzazione del costo di produzione.

La programmazione nell'ambito delle linee di lavorazione, impegno dei macchinari e delle attrezzature; organizzazione per il «just in time».

Verranno svolte applicazioni pratiche con sviluppo di studi di fabbricazione specifici tra cui, tra l'altro, la fabbricazione di stampi destinati a diversi processi produttivi.

Verranno utilizzati mezzi di calcolo e problemi software specifici per la stesura di cicli di lavorazione e per la programmazione automatica delle macchine utensili.

11177

TEORIA E TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE

Docente: **Giannino Praitoni** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile).

1031

TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI

Docente: **Alessandro Orlandi** prof. ord.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile).

2121

TECNOLOGIE GENERALI DEI MATERIALI

Docente: **Daniele Veschi** prof. inc. stab.

Scopo del corso è l'approfondimento di concetti affrontati nel corso di Tecnologia meccanica relativamente agli acciai, e lo studio e conoscenza del comportamento, degli impieghi e delle tecnologie caratteristiche di alcuni materiali di fondamentale interesse nelle costruzioni meccaniche quali: rame e sue leghe, alluminio e sue leghe, magnesio e sue leghe, materie plastiche, titanio e sue leghe, acciai per usi speciali.

Il corso si propone altresì di fornire i concetti fondamentali per la scelta dei materiali oggetto del corso, e per le corrette collocazioni e metodologia delle operazioni tecnologiche e dei trattamenti termici.

Programma

L'acciaio e le sue trasformazioni e loro interpretazione.

Richiami di trattamenti termici. Trattamenti termochimici (cementazione, nitrurazione, carbonitrurazione, sulfinizzazione, processi Tecnifer e Ni-Temper, borizzazione). Criteri di scelta degli acciai (da cementazione e da bonifica) e delle caratteristiche conseguibili con trattamenti.

Acciai per usi speciali: rapidi, per lavorazioni a freddo e a caldo, resistenti a creep, per basse temperature, per cuscinetti, per molle, per costruzioni saldate, inossidabili, Maraging. Attitudine ai vari processi tecnologici.

Generalità diagrammi di stato, tipi di leghe caratteristiche, lavorazioni tecnologiche e trattamenti di: Rame e sue leghe, Alluminio e sue leghe, Magnesio e sue leghe, Titanio e sue leghe.

Materie plastiche: Tipi, processi tecnologici, caratteristiche ed impieghi di: Poliolefine, Polistiroli, Poliamidi, PVC, Poliacetiliche PTFE, termoindurenti. Criteri di progettazione.

Lo zinco: cenni storici e di metallurgia. Proprietà e tecnologie. Leghe di zinco. Zincatura.

Propedeuticità consigliata: Tecnologia Meccanica.

Testi consigliati:

VESCHI D., *L'acciaio e il suo impiego*, Ed. Patron.

VESCHI D., *L'alluminio e le sue leghe*, Ed. Patron.

VESCHI D., *Materie plastiche*, Ed. Patron.

GUZZONI, *Metallurgia e tecnologia dei metalli*, Ed. Etas Kompass.

Note sul rame e sue leghe, CISAR, Milano.

L'esame è costituito da una prova scritta e da un colloquio. La prova scritta consiste nello studio di fabbricazione (come successione di operazioni tecnologiche) di un particolare proposto.

1037

TECNOLOGIA MECCANICA

Docente: **Fabio Soavi** prof. ord.

Il corso si prefigge lo scopo di introdurre alla conoscenza delle proprietà meccaniche e fisiche dei materiali metallici in relazione alla loro utilizzazione nei processi di produzione industriale ed ai fenomeni che a questi processi sono connessi.

Programma

Vengono esaminati i principali processi tecnologici che consentono la produzione, in piccola o grande serie, di particolari meccanici semilavorati o finiti. Si fa riferimento essenzialmente alle lavorazioni eseguite mediante deformazione plastica a caldo e a freddo, saldatura, fonderia ed ai trattamenti termici dei materiali metallici.

L'impostazione del corso prevede che la parte descrittiva risulti una logica conseguenza della trattazione critica relativa alla tecnologia dei materiali metallici, alle macchine ed ai sistemi di lavorazione.

Le nozioni propedeutiche necessarie riguardano argomenti trattati, nei corsi di Chimica applicata e Scienza delle costruzioni.

Testi consigliati:

BARTOCCI, MARIANESCHI, *Metalli e Siderurgia*, Ed. Cromonese, Roma.

VALLINI, *La saldatura e i suoi problemi*, Edit. Manuali tecnici Del Bianco, Udine.

CAPELLO, *Fonderia*, Edit. Signorelli, Milano.

MICHELETTI, *Tecnologie generali*, Edit. Levrotto & Bella, Torino.

DE GARMO, *Materials and processes in manufacturing*, Edit. Macmillan.

ALEXANDER, BREWER, *Manufacturing properties of materials*, Edit. Van Nostrand, Londra.

MAZZOLENI, *Lezioni di tecnologie dei metalli*, Edit. Pellerano del Gaudio, Napoli.

GUZZONI, *Metallurgia e tecnologia dei metalli*, Edit. Etas Kompass, Milano.

VESCHI, *L'acciaio e il suo impiego*, Edit. Patron, Bologna.

WULFF, *Struttura e proprietà dei materiali*, Vol. 1, 2, 3, 4, Edit. Ambrosiana, Milano.

Svolgimento degli esami, esercitazioni:

L'*esame* consiste in una prova scritta, concernente argomenti del corso, ed in una prova orale.

Le *esercitazioni* sono orientate al completamento ed all'approfondimento degli argomenti svolti durante il corso.

Indirizzo delle tesi di laurea:

Le tesi sono prevalentemente applicative e indirizzate ai processi di fonderia, formatura, trattamento termico, saldatura, macchine utensili, con particolare riferimento alla progettazione di attrezzature di lavorazione, allo studio delle modalità di flusso dei materiali in deformazione plastica all'analisi di fenomeni vibratorii nelle strutture e nel comando delle macchine utensili.

8081

TURBOMACCHINEDocente: **Roberto Bettocchi** prof. ass.

Scopo del corso: Il corso si propone di affrontare il progetto termofluidodinamico delle turbomacchine attraverso approfondimenti delle conoscenze di base i cui principi generali sono trattati nei corsi di Macchine e Complementi di Macchine.

Programma

Tipi di turbomacchine.

Dimensionamento monodimensionale delle turbomacchine; teoria monodimensionale delle macchine a fluido incomprimibile e comprimibile; tracciamento linee meridiane di corrente; procedura per il progetto di macchine a flusso radiale ed assiale.

Tracciamento del profilo delle pale con il metodo ad arco di cerchio, con quello punto a punto e della rappresentazione conforme.

Generalità sul flusso bidimensionale.

Aerodinamica dei profili: prestazioni, distribuzione di pressione, influenza del numero di Mach. Variazione delle prestazioni dei profili al variare dell'allungamento e al variare del rapporto spessore massimo-corda. Risultati forniti dalla teoria aerodinamica. Sovrapposizione degli effetti aerodinamici. Profili della serie NACA usati per la costruzione dei paletamenti.

Flusso bidimensionale irrotazionale nelle turbomacchine a flusso assiale.

Prestazione dei profili posti in schiera: valutazione effetto schiera secondo Weinig ed in base all'andamento della linea media del profilo. Determinazione dello spessore dei paletamenti e disegno della pala. Valutazione delle prestazioni delle macchine operatrici assiali in funzione della portata.

Flusso bidimensionale nelle turbomacchine a flusso radiale. Studio del flusso irrotazionale attraverso schiere di pale radiali stazionarie per mezzo della trasformazione conforme. Valutazione del difetto di deviazione secondo Stodola e secondo Busemann. Pressioni e forze agenti sul fluido che attraversa schiere di pale radiali rotanti.

Influenza della viscosità del fluido sul flusso nelle turbomacchine: strato limite e fenomeni di separazione. Influenza della alterazione del profilo di velocità dovuta allo strato limite sulla prevalenza di macchine operatrici a flusso radiale. Influenza dei fenomeni di separazione sul dimensionamento delle turbomacchine.

Equazioni differenziali del moto per flusso stazionario irrotazionale e loro espressione in termini del potenziale di velocità e in termini della funzione di corrente. Risoluzione delle equazioni differenziali del moto con il metodo delle caratteristiche.

Progetto fluidodinamico di una turbomacchina.

Analisi sperimentale del flusso nelle turbomacchine e determinazione delle loro prestazioni.

Propedeuticità consigliate: Aerodinamica, Macchine, Complementi di Macchine.

Testi consigliati:

- R. BETTOCCHI, *Turbomacchine*, Pitagora, Bologna, 1986.
G. VENTRONE, *Le turbomacchine*, Libreria Cortina, Padova, 1975.
G. OSNAGHI, *Macchine fluidodinamiche*, CLUP, Milano, 1979.
G.F. WISLICEMUS, *Fluid mechanics of turbomachinery*, Dover Publication, New York, 1965.
S. LAZARKIEWICZ, A.T. TROSKOLANSKI, *Impeller pumps*, Pergamon Press, London, 1965.

Tesi di laurea: Hanno carattere di progettazione termofluidodinamica o di ricerca sperimentale sui problemi connessi allo studio del flusso e alle prestazioni delle turbomacchine.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRICA**Programmi delle materie di insegnamento**

1351 Analisi matematica I

1359 Chimica

1368 Fisica I

9757 Geometria e Algebra

1355 Analisi matematica II

1373 Fisica II

1380 Meccanica razionale

2037 Elettronica industriale

v. Corso di Laurea in Ingegneria dell'informazione

11177 Teoria e tecnica della circolazione

1031 Tecnica ed economia dei trasporti

v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile

6801 Scienza delle Costruzioni

v. Corso di Laurea in Ingegneria chimica

10411

AUTOMAZIONE INDUSTRIALEDocente: **Giuseppe Basile** prof. ord.*Finalità del Corso*

Il corso 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.

Programma

1) Complementi al corso di controlli automatici: sistemi di regolazione a dati campio-

nati, 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.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica I e II, Macchine elettriche, Elettronica applicata.

Testi consigliati

Verranno forniti ausili didattici da fotocopiare. La parte 2 del programma sarà coordinata con quella di analogo contenuto del corso di Controlli automatici.

10382

AZIONAMENTI ELETTRICI (Elettrici e Nucleari)

Docente: **Domenico Casadei** prof. ass.

Finalità del corso

Il Corso affronta le problematiche inerenti la costruzione e l'esercizio delle macchine e delle apparecchiature impiegate negli azionamenti elettrici. In particolare vengono presi in esame i problemi di natura elettromagnetica, meccanica e termica che sono fondamentali per la progettazione e l'esercizio degli azionamenti elettrici. Inoltre vengono studiate le metodologie relative al controllo delle macchine con dispositivi statici per la conversione dell'energia elettrica.

Programma

Strutture magnetiche ed avvolgimenti impiegati nella realizzazione delle macchine elettriche rotanti. Problemi termici e meccanici: dimensionamento degli alberi rotanti, velocità critiche, vibrazioni, equilibratura, rumori, perdite e raffreddamento. Condizioni e tipo di servizio.

Esame dei dispositivi a semiconduttore per il controllo dei motori a corrente continua: convertitori AC/DC e chopper. Caratteristiche degli azionamenti che impiegano motori c.c. nel funzionamento su uno, due e quattro quadranti. Strategie di controllo della coppia e della velocità.

Caratteristiche degli inverter a commutazione naturale e forzata. Inverter a tensione ed a corrente impressa. Cicloconvertitori, convertitori a matrice.

Caratteristiche costruttive delle macchine sincrone a rotore avvolto ed a magneti permanenti. Identificazione dei parametri. Controllo della velocità negli azionamenti con macchine sincrone. Schemi per l'implementazione del controllo di coppia ad orientamento di campo. Caratteristiche di funzionamento dei brushless AC e brushless DC.

Comportamento delle macchine ad induzione alimentate tramite convertitori statici di frequenza e tensione. Controllo di velocità e di coppia con metodi di tipo scalare. Effetti della variazione di frequenza e della saturazione sui parametri di macchina. Controllo ad orientamento di campo delle macchine asincrone. Metodi di tipo diretto ed indiretto. Tecniche di modulazione di tipo PWM ed SVM. Metodologie per il controllo della coppia che non richiedono la presenza di trasduttori di posizione e velocità. Tecniche per l'identificazione e l'adattamento dei parametri.

Azionamenti con attuatori a moto incrementale. Motori di tipo passo-passo e motori a riluttanza variabile. Caratteristiche statiche e dinamiche. Campi di applicazione. Tecniche di alimentazione e problemi di instabilità dinamica.

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. KINGSEY Jr., A. KUSKO, *Macchine Elettriche*, Franco Angeli Editori, 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.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica, Macchine Elettriche, Controlli Automatici.

L'esame consta di una prova orale.

1359

CHIMICA (per Ambiente)

Docente: **Corrado Berti** prof. ass.

Il corso si propone: a) inquadrare in modo del tutto generale l'intero campo delle proprietà microscopiche dei sistemi chimici analizzando la struttura chimica dei nuclei atomici, degli atomi e delle molecole; b) coordinare l'insieme delle proprietà macroscopiche dei sistemi chimici impiegando la trattazione termodinamica, e facendo uso, ove possibile, delle conoscenze della struttura microscopica della materia già acquisite; c) dare particolare rilievo allo studio delle proprietà chimico-fisiche di quegli elementi e composti chimici di grande importanza nelle applicazioni elettroniche.

Parte I — Struttura della materia. Sistemi omogenei ed eterogenei: concetto di fase. Cenni storici sulle particelle costituenti l'atomo. Dimensioni e massa degli atomi. Isotopi. Scala dei pesi atomici. Unità di massa atomica.

Il nucleo dell'atomo. Numero di massa e numero atomico. Nuclidi stabili ed instabili. Radioattività e processi di decadimento radioattivo. Famiglie radioattive. Difetto di massa ed energia nucleare. Cenni su fissione e fusione nucleare.

Struttura elettronica degli atomi. Spettri di emissione caratteristici degli atomi. Raggi X e legge di Moseley. Quantizzazione dell'energia. Modello atomico di Bohr-Sommerfeld. Numeri quantici dell'elettrone. Principio di esclusione di Pauli. Principio di indeterminazione. Natura dualistica dell'elettrone. Meccanica ondulatoria: la funzione d'onda e suo significato. Atomo di idrogeno. Numeri quantici e orbitali. Orbitali atomici e livelli energetici di atomi con più elettroni.

Distribuzione degli elettroni e sistema periodico. Regola di Hund. Riempimento progressivo degli orbitali: configurazioni elettroniche degli atomi. Il sistema periodico: gruppi, periodi e serie di transizione. Proprietà periodiche.

Il legame chimico. Interazioni tra atomi. Curva di Morse. A) *Il legame ionico.* La molecola e il cristallo di un composto ionico. Valenza ionica: struttura e proprietà dei composti ionici. B) *Il legame covalente:* legami semplici e multipli. Molecole polari e non polari. Il legame covalente di coordinazione. Stati di ossidazione degli elementi. La teoria degli orbitali di valenza: orbitali ibridi e geometria molecolare. Concetto di isomeria. Molecole poliatomiche tipiche. La teoria degli orbitali molecolari: molecole biatomiche omonucleari ed eteronucleari. Il legame polarizzato. Orbitali delocalizzati. C) *Il legame metallico.* Teoria delle bande. Conduttori, isolanti e semiconduttori. D) *Legame a idrogeno.* E) *Il legame tipo forze di Van der Waals.*

Parte II — Stati di aggregazione della materia. Lo stato gassoso. Leggi fondamentali e loro applicazioni ai gas ideali e reali. Temperatura critica e di liquefazione. *Lo stato solido.* Tipi e caratteristiche dei solidi ionici, amorfi e cristallini. Difetti reticolari nei cristalli. Soluzioni solide. *Lo stato liquido.* Equilibrio liquido-vapore. Tipi di soluzioni: gassose,

liquide e solide. Composizione di una soluzione: modi di esprimere la concentrazione delle soluzioni. Soluzioni chimiche.

Parte III — Dinamica chimica. Formule chimiche. Leggi delle combinazioni chimiche. Tipi di reazioni e loro bilanciamento. Calcoli stechiometrici. Pesi equivalenti nelle diverse reazioni chimiche. *1° Principio della Termodinamica.* Concetto di sistema, funzione di stato, reversibilità, irreversibilità, lavoro e calore. Energia interna ed entalpia. Relazione tra C_p e C_v . Termochimica. Energia in gioco nelle reazioni: calcolo delle entalpie di reazione. Reazioni eso- ed endo-termiche. Legge di Hess e sue applicazioni. Entalpia di formazione e di combustione. *2° Principio della termodinamica:* trasformazioni spontanee e probabilità termodinamica di stato. Concetto di entropia. *3° Principio della termodinamica* e calcolo della entropia assoluta. Trasformazioni spontanee ed energia libera. Energia libera standard. Variazione di energia libera in una reazione: l'isoterma di Van t'Hoff. Le costanti di equilibrio. Determinazione della composizione all'equilibrio e del rendimento di una reazione. Spostamento dell'equilibrio chimico. Equilibri omogenei ed eterogenei. Dissociazione dell'acqua e prodotto ionico. Acidi, basi e sali. Forza degli acidi e delle basi. Calcolo del pH. Idrolisi. Prodotto di solubilità. *Equilibri tra fasi diverse.* Regola delle fasi e applicazioni. Equazione di Clausius-Clapeyron. Diagrammi di stato di sistemi ad un componente: H_2O , CO_2 e zolfo. *Termodinamica elettrochimica.* Potenziale elettrochimico. Tipi di semielementi. Semielementi e pile. Equazione di Nernst. Serie dei potenziali standard. Applicazioni elettrochimiche. Elettrolisi e tensione di decomposizione. Leggi di Faraday. Cenni sulla corrosione dei metalli.

Parte IV — Cinetica chimica. Velocità di reazione. Influenza della concentrazione sulla velocità di reazione: equazione cinetica e ordine di reazione. Influenza della temperatura sulla velocità di reazione: teoria delle collisioni, complesso attivato, energia di attivazione, fattore sterico ed equazione di Arrhenius. Catalisi omogenea ed eterogenea: azioni dei catalizzatori.

Parte V — Cenni di chimica organica. Ibridazione del carbonio e composti principali delle serie di idrocarburi alifatici e della serie aromatica. Gruppi funzionali: alogenuri, ammine, alcoli, aldeidi, chetoni, acidi, cloruri acidi, esteri, ammidi.

Il corso comprende anche esercizi e calcoli numerici (stechiometria, termodinamica chimica, equilibri chimici, pH, idrolisi, solubilità, ed elettrochimica).

Testo consigliato:

P. CHIORBOLI, *Fondamenti di Chimica*, Ed. UTET, Torino.

12086

COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA PER L'INGEGNERIA INDUSTRIALE
(Elettrici e Nucleari)Docente: **Ivan Montanari** prof. ass.*Finalità del corso*

Il corso si propone di fornire agli allievi le metodologie generali per affrontare le problematiche connesse alla presenza di disturbi elettromagnetici condotti e irraggiati. Si esamina la normativa in materia di compatibilità elettromagnetica (EMC) e i metodi per le misure di interferenza e suscettibilità. Vengono poi studiate le problematiche di schermatura e di controllo delle interferenze e si definiscono le linee guida per il progetto di apparecchiature elettriche compatibile con le norme E.M.C.

Programma del corso

Introduzione alla compatibilità elettromagnetica (EMC): elementi base nei casi di interferenza elettromagnetica (EMI); interferenze tra sistemi, e interne ad un sistema; sorgenti di EMI; percorsi di accoppiamento di EMI; suscettibilità alle EMI.

Definizioni e terminologia: campo vicino e remoto; rappresentazione dei segnali nei domini del tempo e della frequenza; fenomeni a impulso; emissioni in banda stretta e banda larga.

Messe a terra e interconnessioni: effetti della impedenza e del riferimento di terra sulla EMI; messa a terra singola, multipla e ibrida; circuiti equivalenti delle interconnessioni; metodi di interconnessione.

Schermatura: teoria della schermatura; materiali schermanti; integrità delle configurazioni di schermatura: accessi, aperture di ventilazione e ispezione, inserti, passaggi di cavi, giunzioni.

Generalità sulle tecniche di filtraggio: trasformatori di isolamento; filtri attivi e passivi. La normativa europea su EMC e EMI.

Norme di prodotto.

Procedure di misura: metodologie fissate dalle normative per: emissioni condotte, suscettibilità ai disturbi condotti, emissioni irradiate, suscettibilità ai disturbi irradiati; piani di controllo e verifica; certificazioni.

Criteri di progetto dei sistemi: modalità di accoppiamento dei disturbi, apparecchiature suscettibili; armoniche e loro effetti; tecniche di attenuazione.

Propedeuticità consigliata: Principi di ingegneria elettrica, Controlli automatici.

CONTROLLI AUTOMATICIDocente: **Fulvio Terragni** prof. ass.*Finalità del Corso*

Il corso ha come scopo 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. Esso viene integrato con notizie relative alla descrizione matematica dei sistemi nello spazio degli stati e ai collegamenti fra questa e la descrizione polinomiale (funzioni di trasferimento).

Programma

Lezioni:

- 1) Concetti fondamentali: sistemi e modelli matematici, schemi a blocchi e grafi di flusso di segnale. Controlli ad azione diretta e in retroazione. Robustezza della retroazione rispetto all'azione diretta. Modelli matematici di alcuni sistemi dinamici.
- 2) Metodi di analisi dei sistemi dinamici lineari. Equazioni differenziali e trasformazione di Laplace. Antitrasformazione delle funzioni razionali. Risposta all'impulso e integrali di convoluzione. Sistemi elementari del primo e del secondo ordine.
- 3) Analisi armonica: la funzione di risposta armonica. Deduzione della risposta armonica dalla risposta all'impulso e viceversa. Diagrammi di Bode. Formula di Bode. Diagrammi polari e diagrammi di Nichols.
- 4) Stabilità e sistemi in retroazione. Definizioni e teoremi relativi alla stabilità. Il criterio di Routh. Proprietà generali dei sistemi in retroazione. Errori a regime e tipo di sistema. Il criterio di Nyquist. Margini di ampiezza e fase. Stabilità dei sistemi con ritardi finiti; studio dei sistemi a ritardi finiti mediante le approssimazioni di Padè. Luoghi a M costante e a N costante: pulsazione di risonanza, picco di risonanza e larghezza di banda.
- 5) Il metodo del luogo delle radici. Definizione del luogo delle radici. Proprietà del luogo delle radici. Esempi di luoghi delle radici.
- 6) Progetto delle reti correttive. Dati di specifica e loro compatibilità. Le principali reti correttive a resistenze e capacità. La compensazione mediante reti ritardatrici, anticpatrici, a ritardo e anticipo e a T . Cancellazione polo-zero. La retroazione tachimetrica. Il progetto analitico dei regolatori. I regolatori standard.
- 7) Sistemi in retroazione non lineari. Stati di equilibrio e stabilità. Il metodo della funzione descrittiva. I criteri del cerchio e di Popov. Un metodo grafico per l'analisi dei sistemi a relè.
- 8) Descrizione dei sistemi nello spazio degli stati: esempi relativi a sistemi lineari stazionari, lineari non stazionari e non lineari. Matrice di transizione dello stato ed esponenziale di matrice: procedimenti computazionali. Controllabilità ed osservabilità. Sistemi equivalenti e forme canoniche: di controllabilità, del regolatore, di Jordan, di osservabilità e dell'osservatore. Passaggio dallo spazio degli stati alla funzione di trasferimento e viceversa. Allocazione degli autovalori con retroazione stato-ingresso per il caso

manovrabile e cenno al caso multivariabile. Osservatore asintotico dello stato, osservatore di ordine ridotto e proprietà di separazione. Introduzione dell'ingresso di riferimento nell'anello di regolazione. Esempi.

Esercitazioni

1. Notizie sui componenti dei sistemi di controllo.
2. Svolgimento di esercizi e progetti relativi ai sistemi di controllo in retroazione.

Modalità di esame

Prova scritta e prova orale; la prova orale si può sostenere solo se si è ottenuta la sufficienza in quella scritta.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica, Analisi Matematica III.

Testi consigliati:

G. MARRO, *Controlli automatici*, Zanichelli, Bologna, 1987.

G. MARRO, *Componenti dei sistemi di controllo*, Zanichelli, Bologna, 1984.

Fotocopie distribuite dal docente per il punto 8 del programma.

9758

DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE (Ambiente, Chimica, Elettrica, Nucleare)

Docente: **Gianni Caligiana** prof. ass.

Finalità del Corso:

Il Corso ha lo scopo di fornire le basi necessarie per l'interpretazione e l'esecuzione del disegno. 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 che lo studente esegue durante il Corso o, comunque, presenta al Docente all'atto della prova d'esame.

Programma

Strumenti per il disegno. Linee e scritturazioni unificate.

Costruzioni geometriche fondamentali.

Il Metodo delle *proiezioni* ortogonali.

Vera forma di superfici piane. *Intersezioni* e *sezioni* piane.

Compenetrazioni 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*.

Tolleranze dimensionali e catene di quota con tolleranza. *Tolleranze geometriche*. *Rugosità* delle superfici.

Materiali. Prove di laboratorio: 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. 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, coppie vite-madrevite, camme, biella-manovella).

(Un *programma* più dettagliato ed il *regolamento* del corso 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).

MANFÈ, POZZA, SCARATO, *Disegno Meccanico*, Vol. 1, 2, 3, Ed. Principato, Milano.

SOBRERO, *Corso di Disegno*, Vol. 1, Ed. Pitagora, Bologna.

CONTI, *Disegno tecnologico*, Vol. 1, 2, Ed. Pitagora, Bologna.

Testi di complemento:

FILIPPI, *Disegno di Macchine*, Vol. 1, 2, Ed. Hoepli, Milano.

STRANEO, CONSORTI, *Disegno di Costruzioni Meccaniche*, Vol. 1, 2, Ed. Principato, Milano.

BIGGIOGERO, GIANNATTASIO, *Disegno Industriale*, CLUP, Milano.

BIGGIOGERO, ROVIDA, *Disegno di Macchine*, CLUP, Milano.

Esame

L'esame consta di una prova *scritta* e di una *orale*.

La prova *scritta* si articola in tre fasi:

- una prova scritta preliminare;
- 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.

6183

ECONOMIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA

Docente: Nino Luciani prof. ass.

I - Definizioni, problemi, quadro istituzionale di riferimento. 1. Oggetto della scienza economica, beni economici, legge dell'utilità marginale, principio economico, valore dei beni economici, valore monetario e valore reale, indice dei prezzi, confronti dei valori nel tempo, tasso d'interesse nominale e reale. 2. Principali problemi economici dei Paesi moderni: allocazione delle risorse, scelte delle tecniche, efficienza della produzione e della distribuzione dei redditi all'interno dei singoli Paesi e tra Paesi ricchi e poveri, disoccupazione, inflazione, sviluppo dei sistemi economici. 3. Processi economici reali: consumo e produzione, tipi di processi di produzione, capitalizzazione tecnica, cicli di produzione, orizzonte temporale. 4. I grandi sistemi economici: sistema capitalista di mercato, sistema collettivista, sistemi misti. Il caso dell'Italia.

II - Economia di mercato. 1. Leggi di domanda e offerta, condizioni di equilibrio generale, elasticità della domanda, mercati concorrenziali, mercati monopolistici. 2. Organizzazione dell'impresa: imprese private (individuali, società di persone, società di capitali), imprese pubbliche (enti economici, partecipazioni statali), Pubblica Amministrazione. 3. Fattori della produzione, valore aggiunto, prodotto netto, deperimento, redditi dei fattori, PIL. 4. Finanziamento dell'impresa: risparmio, mercato monetario, mercato finanziario; forme di finanziamento privato e pubblico. 5. Motivazioni dell'impresa privata: profitto, continuità, quote di mercato, fattori umani. Motivazioni dell'impresa pubblica: utilità pubblica, controllo dei prezzi di settori strategici o di importanza sociale, occupazione. Motivazioni del management.

III - Problemi di ottimizzazione degli inputs. 1. Analisi economica e analisi industriale del costo di produzione. 2. Leggi della tecnica. 3. Condizioni di impiego ottimale del capitale e del lavoro, combinazione efficiente degli inputs per un dato investimento, economia di scala, globalizzazione dei mercati.

IV - Applicazioni agli investimenti di capitale. 1. Come calcolare il rendimento del capitale. 2. Dalla statica alla dinamica, ruolo del tasso di attualizzazione. 3. Valore attuale dei profitti annuali, dato un flusso finanziario «after taxes». 3. Profitto «annuale equivalente». 4. Tasso interno di rendimento (TIR). 5. Calcolo limitato ai costi. 6. Rinnovo degli impianti. 7. Affitto e leasing. 8. Investimento con prestito. Dal flusso lordo al flusso netto d'imposta. 9. Rilevanza dell'imposta per la redditività degli investimenti. 10. Differenze tra contabilità aziendale e contabilità fiscale: interesse sul capitale proprio, ammortamento fiscale, scorte di magazzino. 11. Costo non ammortizzato, perdita del conto d'esercizio, sopravvenienze, cadenza temporale degli imponibili. 12. Problema di rinnovo degli impianti e imposta.

V - Problemi di ottimizzazione degli inputs. 1. Riclassificazione dei costi di produzione: costi fissi e variabili; costi totali, medi, marginali. 2. Mercato di concorrenza perfetta. 3. Ruolo della tecnologia sulla struttura delle imprese e sui prezzi. 4. Mercato di monopolio totale, profitto di monopolio, differenziazione dei prezzi. 5. Ruolo della tecnologia nel potere monopolistico. 6. Concorrenza e monopolio dal punto di vista del consumatore. 7. Il bilancio: stato patrimoniale e rendiconto di esercizio, analisi finanziaria, capitale circolante netto, condizioni di equilibrio finanziario, grado di liquidità.

VI - *Elementi di macroeconomia per l'impresa*. A - *Moneta e banche*. 1. Definizione e funzioni della moneta, tipi di monete. 2. Governo della liquidità, equazione «quantitativa», livello generale dei prezzi. 3. Inflazione, effetti economici e sociali dell'inflazione. 4. Banca di emissione, banche di credito ordinario, istituti di credito speciale. B - *Sistema tributario italiano*. 1. IRPEF. 2. ILOR. 3. IRPEG. 4. IVA. C - *Commercio internazionale*. 1. Teorema dei costi comparati, libero scambio, protezionismo. 2. Bilancia dei pagamenti internazionali. 3. Cambio, convertibilità delle monete estere, strumenti per la stabilizzazione dei cambi. 4. Mercato Comune Europeo, Sistema Monetario Europeo, Fondo Monetario Internazionale, Banca Internazionale per la Ricostruzione e lo Sviluppo. D - *Equilibrio macroeconomico*. 1. Importanza dell'equilibrio macroeconomico per la singola impresa. 2. Sistema macroeconomico e condizioni di equilibrio monetario. 3. Leve monetarie e fiscali per il riequilibrio del sistema. 4. Inflazione da costi e da domanda e scala mobile salariale. 5. Politica per lo sviluppo economico, le aree e settori depressi, l'occupazione.

Testi consigliati:

- N. LUCIANI, *Introduzione all'economia, con applicazioni agli investimenti*, CUSL, Bologna, 1992.
D. ZANOBETTI, *Economia dell'ingegneria*, Pàtron, Bologna, 1990.

Testi di complemento:

- R.A. LIPSEY, *Introduzione all'economia*, Etas Libri, Milano, 1990.
V. DEL PUNTA, *Le basi dell'economia politica*, D'Anna, Firenze, 1990.
P. BOSI, *I tributi nell'economia italiana*, Il Mulino, Bologna, 1990.
R.A. BREADLY, S.C. MYERS, *Finanza aziendale*, McGraw-Hill, 1990.
C.A. D'AMBROSIO, S.D. HOADGES, *Finanza aziendale*, McGraw-Hill, 1991.

270

ELETTRONICA APPLICATA

Docente: Vito Antonio Monaco prof. ord.

Finalità del corso

A livello istituzionale vengono trattate le problematiche e le metodologie della Elettronica Applicata. Vengono inoltre forniti criteri di analisi e di progettazione di circuiti elettronici analogici e digitali di interesse per l'ingegneria elettrotecnica.

Programma

Segnali elettrici analogici e digitali. Sistemi di modulazione e di trasmissione. Schemi funzionali di apparecchiature elettroniche per le comunicazioni e per la strumentazione.

Dispositivi elettronici fondamentali. Funzionamento in regime stazionario ed in condizioni dinamiche. Analisi e progettazione di semplici circuiti elettronici. Raddrizzatori, Raddrizzatori controllati, Amplificatori lineari, Amplificatori di potenza, Oscillatori sinusoidali e di rilassamento. Circuiti logici elementari. Famiglie logiche integrate.

Testi consigliati:

VITO A. MONACO, *Elettronica Applicata*, appunti tratti dalle lezioni.

E. DE CASTRO, *Elettronica Applicata*.

G. BASILE, *Elettronica Applicata*.

Oltre alle lezioni il corso comprende *esercitazioni* in aula consistenti nello svolgimento di esercizi numerici sulla analisi e la progettazione; esercitazioni di laboratorio volontarie nelle quali gli studenti possono realizzare e mettere a punto semplici circuiti elettronici. Per essere ammesso agli *esami* lo studente deve superare una prova scritta consistente nella risoluzione di esercizi del tipo svolto nelle esercitazioni in aula.

Propedeuticità consigliate: Principi di ingegneria elettrica, Teoria dei circuiti.

2037

ELETTRONICA INDUSTRIALE (per Elettrotecnici ed Elettronici)

Docente: **Fabio Filicori** prof. ass.

Il Corso 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 elettroottici, 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, *Switch-mode power conversion*, Dekker 1984.

L'*esame* consiste in una prova orale.

Il corso 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.

6797

FISICA TECNICA (per Elettrici, Nucleari)

Docente: **Enzo Zanchini** prof. ass.

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 - Sistemi semplici in moto o aperti: bilanci di energia e di entropia - Sistemi semplici chiusi monocomponenti - Relazioni termodinamiche - Calori specifici - Equazione di stato e diagrammi $\{p,T\}$, $\{p,v\}$ - Processi politropici - Gas ideali: 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 - Proprietà dei vapori surriscaldati e dei gas reali - Diagrammi termodinamici $\{T,s\}$, $\{h,s\}$ e $\{p,h\}$ - Proprietà delle miscele di gas ideali - Entropia di mescolamento - Proprietà delle miscele di aria e acqua - Diagrammi $\{j,x\}$ e psicrometrico - Misura del grado igrometrico - Ciclo Rankine e ciclo frigorifero a compressione.

Fluidodinamica

Definizioni elementari - Moto laminare e moto turbolento - Strato limite dinamico - Viscosità - Fluidi 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 - 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 - Efflusso sotto forti dipendenze di pressione.

Trasmissione del calore

Conduzione - Legge di Fourier - Equazione di Fourier o dell'energia - 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 - 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 e significato fisico del numero di Prandtl - 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 di geometria piana e in geometria cilindrica - Superfici alettate: generalità; distribuzione di temperatura in un'aletta piana sottile ed efficienza dell'aletta - Scambiatori di calore: scambiatori a tubi coassiali e differenza di temperatura media logaritmica; efficienza di uno scambiatore; dimensionamento di uno scambiatore mediante i diagrammi di efficienza.

Testi consigliati:

- E. ZANCHINI, *Termodinamica*, Pitagora, Bologna 1993, a partire dal capitolo 8, escludendo il capitolo 10 ed i paragrafi 19.1 e 19.2 del capitolo 19.
- E. ZANCHINI, *Dispensa di Fisica Tecnica per Ingegneria Elettrica e Nucleare*, disponibile presso la Biblioteca della Facoltà di Ingegneria.
- E. ZANCHINI, *Esercizi di Fisica Tecnica per Ingegneria Elettrica e Nucleare*, raccolta disponibile presso la Biblioteca della Facoltà di Ingegneria.

9730

FONDAMENTI DI INFORMATICA (per Elettrici)

Docente: **Lodovico Ambrosini Guaccimanni** prof. ass.

Scopo del corso:

— Fornire uno strumento di approccio logico alla risoluzione di problemi.

- Mettere a disposizione un linguaggio di programmazione (il Fortran IV) per la traduzione degli algoritmi di risoluzione in programmi per il calcolatore.
- Analizzare i problemi di calcolo numerico di maggior interesse ed approfondire gli algoritmi che li risolvono.

Programma

- Elementi di programmazione.

Struttura generale di un calcolatore elettronico. Metodi per l'analisi di un problema. Definizione, proprietà e rappresentazione degli algoritmi di risoluzione. Il linguaggio Fortran IV. Organizzazione dei programmi. Tecniche per la ricerca degli errori. Cenni sulle strutture dei dati.

- Elementi di calcolo numerico.

Metodi di interpolazione. Il metodo delle interdizioni nello studio dei sistemi fisici lineari. Zeri di un polinomio. Zeri di una funzione. Operazioni su matrici. Soluzione di sistemi di equazioni lineari. Differenziazione numerica. Calcolo degli integrali. Integrazione di equazioni differenziali alle derivate ordinarie. Introduzione al problema dell'ottimizzazione.

Le lezioni vengono integrate con una serie di esercitazioni pratiche con il calcolatore.

Testi consigliati:

Sono disponibili appunti e dispense informali approvate dal docente.
Propedeuticità consigliate: Analisi matematica II.

11135

IMPIANTI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA

Docente: **Carlo Alberto Nucci** prof. ass.

Il corso si propone di fornire agli allievi la descrizione degli elementi impiantistici dei diversi tipi di centrali elettriche e di fornire gli elementi alla base della gestione e, limitatamente alla parte elettrica, della progettazione di esse. Esso fornisce inoltre ulteriori approfondimenti dei temi del corso di Sistemi elettrici per l'energia strettamente connessi con la gestione ed il progetto delle centrali elettriche.

Programma

Generalità sugli impianti di produzione dell'energia elettrica e sui consumi di energia (diagramma di carico).

Elementi impiantistici dei diversi tipi di centrale: centrali idroelettriche e centrali di

pompaggio; centrali termoelettriche a vapore, a gas, miste gas-vapore; centrali nucleari. Centralia contropressione (produzione combinata di energia elettrica e calore).

I servizi ausiliari delle centrali, in particolare delle grandi centrali termoelettriche. Schemi elettrici tipici delle centrali italiane. L'alimentazione in corrente continua dei servizi di emergenza. I diversi tipi di accumulatori; caratteristiche esterne di essi.

Conversione dell'energia eolica e solare. Cenni sulla conversione magneto-aerodinamica.

Inquinamento prodotto dalle centrali. Problemi connessi con la produzione dell'energia elettrica: danni e pericoli causati all'ambiente ed alle persone.

I generatori sincroni di centrale. I diversi diagrammi vettoriali delle macchine sincrone. Le curve delle prestazioni limite per macchine isotrope ed anisotrope. L'autoeccitazione dei generatori sincroni. La teoria delle macchine sincrone in regime dinamico. Parametri subtransitori e transitori. Trasformate di Park. Corto circuito di generatore sincro trifase. Calcolo dei transitori elettromeccanici delle macchine sincrone.

Regolazione della tensione nelle centrali elettriche. 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.

Regolazione della frequenza. Richiami sul comportamento tipico di un regolatore di velocità di un gruppo e sulla regolazione primaria. La regolazione secondaria. La regolazione della frequenza in un sistema con più generatori.

Ripartizione economica del carico (cenni). Reti con centrali termoelettriche. Reti con perdite di trasmissione trascurabili.

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,...).

Il corso comprende esercitazioni in aula e in laboratorio al calcolatore (calcolo dei transitori elettromeccanici, simulazione dei transitori elettrici dell'impianto dei servizi ausiliari di una tipica centrale termoelettrica italiana) ed è completato da una visita ad una centrale dell'ENEL di cui viene in precedenza illustrato il funzionamento e lo schema elettrico.

Testi consigliati:

Dispense tratte dal testo di D. ZANOBETTI, *Centrali e generatori elettrici*, Patron, Bologna, 1976.

R. ROVA, *Centrali elettriche*, Cleup, Padova, 1978.

C. ZANCHI, *Centrali elettriche*, Masson Italia, Milano, 1981.

A. PAOLUCCI, *Lezioni di trasmissione dell'energia elettrica*, Cleup, Padova, 1990.

F. ILCETO, *Impianti elettrici*, Patron, 1981.

R. MARCONATO, *Sistemi elettrici di potenza*, 2 voll. CLUP, Milano, 1985.

IMPIANTI ELETTRICIDocente: **Gianni Pattini** prof. ass.

Il corso si propone di fornire le basi necessarie per poter affrontare le problematiche connesse con gli impianti elettrici di media e bassa tensione e per poter progettare gli impianti stessi.

Nell'ambito del corso sono previste esercitazioni in laboratorio sia di tipo pratico che di progettazione assistita dal calcolatore. Sono altresì previste visite tecniche presso reparti produttivi di fabbriche di apparati elettrici.

*Programma**Linee di trasporto in media tensione*

- Cenni sulla teoria generale delle linee.
- Teoria delle linee corte (media e bassa tensione).
- Cenni sugli aspetti costruttivi delle linee in media tensione.

Concetti di base per il dimensionamento degli impianti

- Calcolo delle correnti di corto circuito negli impianti di media e di bassa tensione.
- Effetti elettrodinamici delle correnti di corto circuito.
- Integrale di Joule (energia specifica).

Apparecchi di manovra e protezione

- Teoria dell'arco elettrico.
- Apparecchiature di interruzione e di manovra per media e bassa tensione.
- Relè di protezione.

Cabine in media tensione

- Configurazione di cabina e trasformatori MT/bt.
- Quadri elettrici in media tensione.
- Coordinamento delle protezioni e selettività.

Caratteristiche di altre sorgenti in bassa tensione

- Gruppi elettrogeni.
- Gruppi di continuità assoluta.

Impianti di terra

- Curva di pericolosità della corrente.
- Dispensori ed impianti di dispersione.
- Tensione totale di terra, tensione di passo e di contatto.
- Stato del neutro e protezione contro i contatti indiretti in impianti di bassa tensione (sistemi TT, TN e IT) e di media tensione.
- Impianti di terra e di equipotenzialità.

Impianti di protezione contro i fulmini

- Cenni al dimensionamento degli impianti di protezione.

Dimensionamento degli impianti in bassa tensione

- Tipi di condutture e di cavi elettrici e loro comportamento nei confronti dell'incendio.
- Coordinamento fra apparati di protezione e linee e relativo dimensionamento.
- Selettività nell'intervento delle protezioni.
- Quadi elettrici di bassa tensione.
- Impianti di rifasamento fissi ed automatici.

Impianti elettrici utilizzatori in bassa tensione

- Impianti di illuminazione (con cenni di illuminotecnica).
- Caratteristiche di impianti di forza motrice.

*Cenni a valutazioni di affidabilità e manutenibilità.**Tesi consigliati:*

ZANOBETTI, PEZZI, *Lezioni di impianti elettrici*, CLUEB.

PAOLUCCI, *Lezioni di trasmissione dell'energia elettrica*, CLEUP.

CHIZZOLINI, FALETTI, *Trasmissione e distribuzione della energia elettrica*, Patron.

CARRESCIA, *Fondamenti di sicurezza Elettrica*, Hoepli.

CATALIOTTI, MORANA, *Impianti elettrici di illuminazione*, Promotec.

10410

INGEGNERIA DEI MATERIALI ELETTRICI

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 i fattori 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 Corsi.

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.

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*.

F) *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 ambientali.

I principali *materiali magnetici* e le loro applicazioni, con particolare risalto di materiali a cristalli orientati. Criteri per il dimensionamento dei nuclei magnetici. Magneti permanenti.

Fondamenti teorici e principali informazioni sulla tecnologia dei materiali *semiconduttori*.

Il Corso si collega ai Corsi di Principi di Ingegneria elettrica, Macchine elettriche ed Impianti elettrici, e con i Corsi tecnologici successivi.

Le *dispense* del Corso sono in parte edite dalla CLUEB e in parte fornite dal docente.

8074-4313

MACCHINE (per Elettrotecnici e Nucleari)

Docente: **Giorgio Negri di Montenegro** prof. ord.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare)

666

MACCHINE ELETTRICHE

Docente: **Giovanni Serra** prof. ass.

Il corso si propone di fornire i fondamenti del funzionamento delle macchine elettriche e le loro caratteristiche in relazione alle diverse modalità d'impiego.

Programma

- Descrizione della geometria e principio di funzionamento delle macchine tradizionali: trasformatore, macchina asincrona, macchina sincrona, macchina a corrente continua;
- Cenni sui materiali impiegati per la loro costruzione;
- Equazioni che caratterizzano il funzionamento di regime e transitorio di tali macchine;
- Calcolo analitico dei parametri che intervengono nelle equazioni delle macchine elettriche, in vista di soluzioni numeriche ottenibili tramite l'impiego del calcolatore elettronico;
- Elementi di progetto;
- Finalità delle macchine elettriche tradizionali e speciali in relazione ai problemi tecnici attuali;
- Descrizione ed equazioni che caratterizzano il funzionamento delle macchine elettriche speciali (birotativa, motore lineare, ecc.);
- Regolazione della velocità delle macchine elettriche.

Il corso comprende esercitazioni di gruppo con sviluppo di argomenti specifici. Vengono tenuti anche seminari, in vista della scelta degli argomenti della tesi di laurea.

Testi consigliati:

Appunti delle lezioni, stampati dalla Pitagora.

A.E. FITZGERALD, C. KINGSLEY, A. KUSKO, *Macchine elettriche*, F. Angeli.

P.L. ALGER, *The nature of poliphase induction machines*, John Wiley, New York, Chapman & Hall, London, 1951.

KOSTENKO M., PIOTROVSKY L., *Electrical Machines*, Moscov, Mir, 1968.

LIWSCHITZ M., *Le macchine elettriche*, Prima parte, Milano, Hoepli, 1963.

10008

MAGNETOFLUIDODINAMICA APPLICATA

Docente: **Carlo Angelo Borghi** prof. ass.

La *Magnetofluidodinamica* riguarda lo studio del comportamento dei plasmi in moto in campi elettromagnetici. Sono fornite le conoscenze di base delle principali applicazioni ingegneristiche dei plasmi. I principi fondamentali della magnetofluidodinamica e della fisica dei plasmi sono trattate nella prima parte del corso. Nella seconda parte vengono presi in esame gli aspetti fondamentali della conversione diretta MHD e della fusione termonucleare controllata a confinamento magnetico. Infine vengono illustrati il principio di funzionamento del laser a gas ed applicazioni.

*Programma**Elementi di Magnetofluidodinamica e Fisica dei Plasmi***Moto delle particelle cariche:**

Il moto di una particella carica, in presenza di campi magnetici e campi gravitazionali. Momento magnetico di una particella carica ed invarianti adiabatiche. Specchi magnetici.

Processi radiativo-collisionali:

Le particelle fondamentali di un plasma. Processi collisionali: 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, radiazioni bound-free e radiazioni free-free.

Comportamento statistico dei plasmi:

Relazioni di equilibrio: distribuzione Maxwelliana, relazioni di Boltzmann, relazione di Saha e relazione di Plank.

Fenomeni collettivi e grandezze caratteristiche del plasma:

Lunghezza di Debye, potenziale schermato di Coulomb ed effetto guaina. Il parametro di Hall. Legge di Ohm generalizzata.

Descrizione dei campi magnetofluidodinamici:

Approssimazione MHD. Equazioni dell'Elettrodinamica: equazioni di Maxwell e legge di Ohm in un campo magnetofluidodinamico. Regimi diffusivo e convettivo, numero di Reynolds magnetico e parametro di interazione. Modello del continuo ed equazioni della fluidodinamica in un campo magnetofluidodinamico. Equazioni di conservazione per plasmi in parziale equilibrio termodinamico locale.

Onde nei plasmi:

Onde elettromagnetiche ed onde di Alfvén. Onde elettroacustiche ed onde magnetoacustiche. Smorzamento delle onde nei plasmi.

Conversione magnetofluidodinamica dell'energia

Principio di funzionamento del generatore MHD.

Leggi fondamentali della conversione MHD:

Leggi dell'Elettrodinamica del generatore. Conducibilità del non equilibrio e leggi di conservazione degli elettroni. Fenomeni di perdita.

Elementi di progetto del generatore MHD:

Il toppler MHD ed impianti combinati: ciclo chiuso e ciclo aperto. Rendimento di conversione.

Fusione termonucleare controllata

Principio fisico e caratteristiche principali dei plasmi fusionistici:

Principali reazioni di fusione. Barriera Coulombiana e probabilità di reazione. Bilanci energetici.

Confinamento magnetico del plasma:

Configurazioni lineari: z-pinch ed equazione di Bennet. 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.

Il riscaldamento del plasma:

Riscaldamento Ohmico e suoi limiti. Il riscaldamento adiabatico, il riscaldamento inerziale ed il riscaldamento a radiofrequenze.

Aspetti ingegneristici della macchina tokamak.

Il Laser a gas

Principio di funzionamento del laser a gas ed applicazioni:

Emissione forzata, effetto laser e materiale attivo. Inversione di popolazione e pompaggio. Risonatori. Laser a gas atomici, a gas ionici ed a gas molecolari.

Testi consigliati:

Appunti del corso.

J.L. SHOHEP, *The Plasma State*, Academic Press, New York, 1971.

L.C. WOODS, *Principles of Magnetoplasma Dynamics*, Clarendon Press, Oxford, 1987.

R.V. POLOVIN and V.P. DEMUTSKII, *Fundamentals of Magnetohydrodynamics*, consultant Bureau, New York/London, 1990.

M. MITCHNER, C.H. KRUGER, *Partially Ionized Gases*, Wiley-Interscience, New York, 1973.

J.R. ROSA, *Magnetohydrodynamics Energy Conversion*, McGraw-Hill, New York, 1968.

K. MIYAMOTO, *Plasma Physics for Nuclear Fusion*, The MIT Press, Cambridge-Mass., 1989.

T.J. DOLAN, *Fusion Research*, Pergamon Press, New York, 1982.

11140

MATERIALI PER L'INGEGNERIA ELETTRICA

Docente: **Ermanno Goracci** prof. ass.

Il corso ha scopi di carattere generale quali quelli di stimolare gli studenti a prestare attenzione alle particolarità, alle anomalie e ai difetti, perché, i materiali si distinguono proprio per le particolarità che li possono rendere adatti o no ad un determinato impiego.

Il corso ha poi uno scopo di raccogliere ed inquadrare le informazioni relative alle caratteristiche, processi di fabbricazione e modalità di impiego dei materiali utilizzati.

Programma

1. *Elementi di cristallografia.*
2. *Elementi di metallografia e analisi non distruttive.*
3. *Analisi del processo di solidificazione* degli acciai in funzione delle caratteristiche ottenibili. Caratteristiche e difetti dei materiali sinterizzati.
4. *Trattamenti termici* delle leghe ferrose e non ferrose.
5. *Corrosione e invecchiamento dei metalli:* corrosione degli acciai, del rame e sue leghe, dell'alluminio e sue leghe; leghe resistenti alla corrosione, leghe resistenti al calore; criteri di protezione attiva e passiva; invecchiamento dei metalli.
6. *Analisi cristallografica* delle fratture di origine elettrica.
7. *Semiconduttori:* Equazione generale della diffusione; la giunzione polarizzata; capacità di transizione e capacità di diffusione della giunzione; dipendenza della caratteristica della giunzione dalla frequenza e dalla temperatura; rumore nei diodi.
8. *Diodi:* tensione di breakdown e meccanismo di rottura; effetto tunnel; diodi inversi; diodi punch-through; diodi PIN; diodi a punto di contatto; diodi varactor; diodi rettificatori; diodi fotodiodi, celle solari.
9. *Transistore:* L'effetto transistore; modulazione della larghezza di base; caratteristi-

che esterne; caratteristiche dinamiche; limiti di: potenza, tensione, corrente; parametri dei transistori, circuiti equivalenti; tempi di commutazione, rumore di fondo.

10. *Teoria dei FET e dei MOSFET.*
11. *Dispositivi p-n-p-n e rettificatori* controllati al silicio.
12. Problemi dei *tiristori.*
13. Altri componenti particolari; *Pile termoelettriche.*
14. Problemi tecnologici connessi all'*affidabilità.*
15. Caratteristiche attuali e *criteri di scelta* dei materiali superconduttivi.
16. Problemi tecnologici dei *supermagneti.*
17. *Materiali strutturali* per avvolgimenti di armatura in aria.
18. Tecniche e *materiali criogenici e dell'alto vuoto.*
19. *Schermi elettromagnetici.*

8073

MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (Elettrici)

Docente: **Alberto Maggiore** prof. ord.

Scopo del corso:

Il corso fornisce agli allievi i concetti ed i metodi per lo studio funzionale delle macchine, con riferimento anche all'impostazione dei relativi problemi di progettazione e di manutenzione.

Programma

1. *Definizioni generali.* Macchina e meccanismo, coppie cinematiche, gradi di libertà, rendimento di una macchina.

2. *Tribologia e lubrificazione.* a) L'attrito di strisciamento e le sue leggi; applicazioni: coppia prismatica, coppia rotoidale, viti di manovra e di serraggio; freni; innesti e giunti ad attrito. b) Risultati della teoria di Hertz. Attrito di rotolamento e sue leggi. Applicazioni: trasporto con rulli; tipologia, scelta e calcolo dei cuscinetti a rotolamento; guide e viti a circolazione di sfere. Equilibrio di un veicolo su ruote. c) Usura abrasiva, usura adesiva, fatica superficiale. La lubrificazione idrodinamica: equazione di Reynolds; cuscinetti Mitchell e Kingsbury; coppia rotoidale lubrificata; dimensionamento e verifica di un cuscinetto. Cenni sulla lubrificazione elastoidrodinamica e sulla lubrificazione fluidostatica.

3. *Teoria dei meccanismi.* a) Sistemi articolati piani: analisi e sintesi cinematica; analisi cinetostatica; esempi ed applicazioni. Sistemi articolati spaziali: analisi cinematica dei sistemi articolati in catena aperta per manipolatori di robot; il giunto di Cardano. b) 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. c) Rotismi ordinari ed epicicloidali: scelta e valutazione del rapporto di trasmissione;

relazione fra i momenti; rotismi differenziali. Metodi elementari di calcolo di alcuni organi di trasmissione. Impegno degli organi flessibili nelle macchine di sollevamento. Trasmissione del moto con organi flessibili: cinghie piatte e trapezoidali, catene. Freni a nastro.

4. *Dinamica delle macchine e meccanica delle vibrazioni.* a) Azioni d'inerzia, energia cinetica, masse di sostituzione. Equilibrio dinamico di una macchina alternativa; compensazione delle azioni di inerzia. Impianti funzionanti a regime periodico: grado di irregolarità e calcolo del volano; cenni sul calcolo a resistenza del volano. b) Caratteristica meccanica di una macchina. Accoppiamento motore-utilizzatore; il problema della regolazione della velocità angolare. I transitori meccanici: avviamento, frenatura, transitorio di un impianto con innesto a frizione. c) Vibrazioni libere e forzate di sistemi ad un grado di libertà, applicazioni tecniche, isolamento delle vibrazioni; scrittura matriciale delle equazioni del moto per sistemi a due e a più gradi di libertà, autovalori ed autovettori, analisi modale. Analisi sperimentale delle vibrazioni; effetti delle vibrazioni; monitoraggio e diagnostica industriale. Dinamica dei rotor: equilibratura e macchine equilibratrici; velocità critiche flessionali; instabilità.

Propedeuticità consigliata: Meccanica razionale.

Testo consigliato:

E. FUNAIOLI, A. MAGGIORE, U. MENEGHETTI, *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine*, Pàtron, Bologna.

Esame: consiste in una prova orale.

11141

METODOLOGIE DI PROGETTAZIONE DI MACCHINE ELETTRICHE

Docente: **Antonino Grande** prof. ass.

Programma del Corso

1. *Considerazioni generali sul dimensionamento delle macchine elettriche.* Coefficienti di utilizzazione. Macchine geometricamente simili. Normalizzazione delle dimensioni e delle potenze. 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 «per unità» 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 avvolgimenti 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 «ottimale» 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 nelle 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 lamina», a rotore «massiccio» 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.

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.

Testi consigliati:

Disponibili appunti tratti dalle lezioni.

732

MISURE ELETTRICHE

Docente: **Alberto Burchiani** prof. ass.

Il corso si propone la finalità di fornire agli allievi:

— le basi teoriche per affrontare i problemi generali delle misure;

- la conoscenza degli strumenti e dei metodi fondamentali per l'esecuzione delle misure elettriche;
- le procedure per l'esecuzione delle principali misure di verifica e collaudo relative alle macchine ed agli impianti elettrici.

Argomenti fondamentali del corso saranno:

- significato delle misure, unità di misura, precisione, teoria degli errori e legge di propagazione degli stessi;
- strumenti indicatori elettromeccanici: funzionamento, caratteristiche ed impiego;
- strumenti indicatori ad amplificatore (elettronici) analogici e digitali: caratteristiche esterne ed impiego;
- strumenti registratori scriventi ed a supporto magnetico;
- principali metodi di misura di grandezze elettriche: potenziometrici, a ponte in c.c. e c.a.;
- misure di potenza e di energia in c.c., c.a. monofase e trifase;
- prove fondamentali su materiali dielettrici, conduttori e magnetici;
- prove sulle macchine elettriche: isolamento, rendimento e sovrariscaldamento;
- misure su impianti di messa a terra.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica I e II.

Costituiscono parte integrante del corso le esercitazioni teoriche e pratiche di laboratorio.

Testo consigliato:

MODONI-DORE, *Misure elettriche*, Patron, e dispense integrative su argomenti specifici.

11142

MISURE E COLLAUDO DI MACCHINE E IMPIANTI ELETTRICI

Docente: **Renato Sasdelli** prof. ass.

Metrologia. Richiami di metrologia elettrica.

Misure di impedenze. Reti equivalenti e aratterizzazione metrologica di componenti passivi. Influenza dei parametri indesiderati nei metodi di ponte. Ponti per misure a tre morsetti. Misura di capacità in alta tensione. Analizzatori di impedenze.

Problemi di misura in regime periodico non sinusoidale. Misure per caratterizzare circuiti operanti in regime non sinusoidale. Misure orientate alla compensazione dei carichi non lineari. Misure per tariffazione e per la qualificazione dell'energia elettrica.

Strumentazione automatica. Standards per il controllo della strumentazione mediante calcolatore con particolare riferimento allo IEEE 488. Struttura dei sistemi di acquisizione. Strumentazione virtuale; realizzazione di strumenti virtuali.

Misure per la caratterizzazione delle macchine elettriche. Problemi generali: tiupi di prove; requisiti della alimentazione; localizzazione e valutazione delle perdite; misura del rendimento.

Misure sui trasformatori: determinazione del rapporto di trasformazione e della pola-

rità; misura delle perdite; determinazione dei parametri del circuito equivalente; misura dell'impedenza alle correnti di sequenza zero; prove sugli autotrasformatori.

Misure sui motori asincroni: perdite e loro separazione; determinazione dei parametri del circuito equivalente; metodi per il rilievo della caratteristica meccanica. Misure sui motori monofase a condensatore.

Misure sulle macchine in corrente continua: rilievo delle curve caratteristiche; determinazione del rendimento; misura dei parametri caratteristici nel funzionamento transitorio.

Prove termiche. Potenza nominale e tipo di servizio di una macchina elettrica. Valutazioni convenzionali della costante di tempo termica e della durata delle prove. Metodi di prova. Problemi nella misura della temperatura delle parti delle macchine. Valutazione dell'esito delle prove.

La sicurezza negli ambienti di lavoro. Approccio metodologico ai problemi della sicurezza; definizioni. Circuiti «a sicurezza positiva».

Le responsabilità e i compiti dell'ingegnere. Il quadro legislativo. I servizi aziendali per la sicurezza e la salute negli ambienti di lavoro. Organizzazione e poteri degli organi di vigilanza. Analisi di alcuni infortuni elettrici sul lavoro.

Misure e prove per il collaudo degli impianti elettrici. Verifiche sui sistemi di protezione dai contatti diretti. Verifiche sui sistemi di protezione dai contatti indiretti senza o mediante interruzione automatica dell'alimentazione. Analisi dei limiti protettivi degli interruttori differenziali. Verifica della corretta scelta e installazione dei dispositivi per la protezione contro le sovracorrenti. Verifiche sui conduttori di protezione e di terra.

Misure sugli impianti di terra. Metodi e strumentazione per la misura: della resistività del terreno; dell'impedenza di terra; dell'impedenza dell'anello di guasto; delle tensioni di passo e di contatto. Il problema dei disturbi nelle misure sugli impianti di terra e protezione.

Le verifiche per la sicurezza negli impianti elettrici per i cantieri edili.

Propedeuticità consigliate: Misure elettriche; Macchine elettriche; Impianti elettrici.

Testi consigliati:

Appunti delle lezioni.

G. ZINGALES, *Misure sulle macchine e sugli impianti elettrici*, CLEUP, Padova.

V. CARRESCIA, *Fondamenti di sicurezza elettrica*, Hoepli, Milano.

10386

MODELLISTICA DEI SISTEMI ELETTROMECCANICI (per Elettrici)

Docente: **Giovanni Tani** prof. ass.

Il corso analizza la dinamica delle macchine elettriche rotanti impostando una trattazione generale unitaria delle macchine stesse ai valori istantanei: in essa compaiono i flussi in due circuiti magnetici a 90° elettrici fra loro; le correnti negli avvolgimenti statorici, negli

avvolgimenti rotorici con eventuale accesso da anelli, negli avvolgimenti rotorici con collettore e lame; la coppia all'albero.

Riconosciuti come casi particolari i funzionamenti di regime già noti delle principali macchine elettriche, i regimi sinusoidali vengono visualizzati nei diagrammi polari, che per le macchine asincrone polifasi e monofasi e le sincrone a poli lisci risultano circolari e visti unitariamente.

Vengono poi studiati i funzionamenti di macchine elettriche speciali.

Indi il metodo viene applicato allo studio dei transistori elettrici ed elettromeccanici delle macchine elettriche principali, asincrone e soprattutto sincrone ad illustrarne il significato delle impedenze transitorie, visualizzando anche i risultati sullo stesso piano dei diagrammi polari.

Il corso ha carattere formativo fornendo procedimenti utili, oltre che ai risultati direttamente ottenuti, ad ulteriori studi svariati, in particolare di controlli automatici e di stabilità.

È disponibile un testo scritto dal docente.

11714

PRINCIPI DI INGEGNERIA ELETTRICA I

Docente: **Ugo Reggiani** prof. ord.

L'insegnamento ha essenzialmente lo scopo di fornire agli allievi un quadro sintetico delle leggi dell'elettromagnetismo e di sviluppare le problematiche relative all'elettromagnetismo stazionario e lentamente variabile. Si esaminano i concetti e gli approcci metodologici per la soluzione dei problemi di campo stazionario e quasi-stazionario nelle apparecchiature e nei sistemi elettrici di potenza. Si ricavano, a partire dalla teoria dei campi, le relazioni fondamentali della teoria dei circuiti, teoria che viene sviluppata in dettaglio nel corso successivo di Principi di ingegneria elettrica II.

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 unicità 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. stazionaria 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 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. Definizione di resistenza e di 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.

Il corso è integrato da esercitazioni teoriche e numeriche.

Propedeuticità consigliate: Analisi Matematica I e II, Fisica II.

11715

PRINCIPI DI INGEGNERIA ELETTRICA IIDocente: **Riccardo Miglio** prof. ass. (inc.)

Il corso tratta prevalentemente argomenti di applicazione delle leggi dell'elettromagnetismo introdotte nel precedente corso di Principi di ingegneria elettrica I. Vengono discussi i metodi di risoluzione dei circuiti sia in regime stazionario sia in regime variabile con particolare attenzione ai fenomeni transitori e al regime sinusoidale. Sono trattati i problemi energetici e i sistemi di distribuzione trifasi. Sono infine esposti i metodi di risoluzione ed elementi di progetto delle reti magnetiche non lineari, con particolare riguardo alle strutture di apparecchiature elettriche usuali.

Circuiti elettrici lineari in regime stazionario: Reti elettriche a costanti concentrate. Bipoli passivi normali e caratteristica esterna. Bipoli attivi ideali di tensione e di corrente. Bipoli attivi normali reali e caratteristiche esterne. Legge di Ohm generalizzata. Legge di Ohm per il circuito chiuso. Formula di Millmann. Analisi generale delle reti elettriche; Metodo dei potenziali di nodo. Legge delle tensioni di maglia. Metodo delle correnti di ramo. Metodo delle correnti di maglia. Legge della dualità. Principio di sovrapposizione degli effetti. Principio di equivalenza fra bipoli attivi. Teorema di Thevenin e teorema di Norton. Teorema di reciprocità. Principio di sostituzione e di compensazione. Principio di simmetria. Metodo di risoluzione grafica. Generatori controllati. Effetto Joule e bilancio energetico di un bipolo passivo. Bilancio energetico di un bipolo attivo reale: funzionamento da generatore, da motore. Analisi delle reti complesse e matrici omogenee associate a un circuito.

Circuiti elettrici non lineari in regime stazionario: Bipoli anomali e reti elettriche corrispondenti. Risoluzione per linearizzazione, per interpretazione analitica e grafica.

Circuiti elettrici in regime variabile: I problemi della solenoidalità della corrente e della irrotazionalità della tensione nei regimi variabili. Bipoli ideali in regime variabile. Transitorio di carica e scarica di un condensatore e di un induttore. Applicazione di un f.e.m. stazionaria ad un circuito R,L,C. Analisi delle reti normali a più maglie in regime variabile. Risoluzione mediante trasformazione di Laplace.

Circuiti elettrici in regime alternativo sinusoidale: Le ragioni tecniche ed economiche dell'uso del sistema sinusoidale. Comportamento in regime permanente sinusoidale dei bipoli ideali (resistore, condensatore, induttore, induttori accoppiati). Circuito equivalente tipo serie e tipo parallelo e criteri di equivalenza. Risoluzione dei circuiti con il metodo simbolico. Potenze e risoluzione dei circuiti con il metodo del Bucherot. Comportamento energetico dei bipoli attivi. Risonanza serie e parallelo. Il problema del rifasamento. Fenomeni transitori nei circuiti generatori sinusoidali.

Sistemi trifasi: Sistema trifase simmetrico ed equilibrato, simmetrico e squilibrato, dissimmetrico e squilibrato e a quattro fili. Potenze trifasi e relative misure.

Circuiti magnetici in regime stazionario e sinusoidale: Analogia fra reti elettriche e reti magnetiche ed estensione dei metodi di risoluzione. I circuiti magnetici di apparecchiature elettriche usuali. Elettromagneti monofasi e trifasi.

Testi consigliati:

- R. MIGLIO, *Circuiti elettrici in corrente continua*, edit. Progetto Leonardo, Bologna.
 R. MIGLIO, *Circuiti elettrici in regime variabile*, edit. Progetto Leonardo, Bologna.
 R. MIGLIO, *Circuiti magnetici in regime stazionario e sinusoidale*, edit. Progetto Leonardo, Bologna.

10388

PROGETTAZIONE AUTOMATICA PER L'INGEGNERIA ELETTRICA (Elettrici e Nucleari)Docente: **Ivan Montanari** prof. ass.

Un primo scopo del corso è di fornire agli allievi nozioni sui principali metodi di calcolo del campo magnetico nei sistemi elettromagnetici sia tradizionali che avanzati. Finalità specifica di tale problematica è rendere gli allievi idonei a procedere alla modellazione ed all'analisi computazionale del campo magnetico stazionario o quasi stazionario mediante la scelta e l'impiego dei codici di calcolo più adatti. In tale ambito vengono in particolare sviluppati i metodi di analisi bi- e tridimensionale per il progetto dei magneti superconduttori e per l'esame dei principali fenomeni ad essi associati.

Un secondo obiettivo del corso è di trattare le problematiche connesse all'uso dei superconduttori a bassa temperatura, con particolare riferimento allo studio delle varie applicazioni della superconduttività. L'intento è quello di fornire gli strumenti di base per la comprensione delle fenomenologie associate all'uso dei vari tipi di superconduttori metallici per la realizzazione di strutture magnetiche ed illustrare, in maniera estesa, le possibilità applicative da essi offerte.

Il corso è completato da una breve panoramica sulle metodologie per l'analisi di affidabilità di un sistema, con particolare attenzione alle tecniche basate sull'uso dei fault trees.

Programma

Metodi analitici bi- e tridimensionali per l'analisi del campo magnetico.

Metodi numerici differenziali ed integrali bi- e tridimensionali per l'analisi dei campi magnetici.

Calcolo delle forze mediante metodi analitici e numerici.

Il fenomeno della superconduttività: stabilità, fenomeni di perdita, quench e protezione.

Applicazioni della superconduttività: analisi delle varie applicazioni, in uso ed allo studio, dei materiali superconduttori a bassa temperatura; criteri di progetto dei magneti superconduttori.

Metodi per l'analisi di affidabilità: cenno sulle procedure per l'analisi di affidabilità di un sistema; uso del fault tree e sua valutazione qualitativa e quantitativa anche con eventi dipendenti.

7949

SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI ELETTRICIDocente: **Antonio Motori** prof. ass.

Il corso si propone di fornire una trattazione unitaria delle proprietà, degli impieghi e dei criteri di scelta dei materiali per l'ingegneria elettrica.

Programma

Classificazione dei materiali. Principali materiali metallici, ceramici, polimerici e composti impiegati nell'Ingegneria elettrica. Proprietà generali.

Materiali monocristallini, policristallini e amorfi. Metalli e leghe metalliche. Ceramiche. Polimeri e copolimeri. Polimeri termoplastici e termoindurenti. Elastomeri. Cristallinità, proprietà e applicazioni dei principali tecnopolimeri.

Difetti strutturali dinamici e statici. Concentrazione dei difetti e proprietà dei materiali cristallini. Microstruttura e proprietà dei materiali. Trasformazioni di equilibrio e non equilibrio. Esempi ed applicazioni: trattamenti termici, fusione e solidificazione, purificazione dei materiali, etc.

Conno ai processi elementari di trasporto di materia nei solidi. Esempi e applicazioni (drogaggio dei semiconduttori, sinterizzazione).

Proprietà elettriche dei materiali: conduttori, semiconduttori e isolanti.

Conduzione elettrica e conducibilità elettrica. Materiali conduttori. Regole di Matthiessen e di Nordheim. Principali materiali conduttori impiegati nella tecnica. Semiconduttori intrinseci ed estrinseci. Droganti e meccanismi di conduzione. Materiali isolanti e dielettrici. Processi elementari di polarizzazione. Costante dielettrica complessa e processi di rilassamento dielettrico nei materiali. Equazioni di Debye. Principali materiali isolanti impiegati nella tecnica. Principali tecniche per lo studio delle proprietà elettriche dei materiali isolanti. Processi elementari di scarica elettrica nei materiali e rigidità dielettrica. Prove e normativa sui materiali elettrici.

Proprietà magnetiche dei materiali. Principali materiali magnetici impiegati nella tecnica. Superconduzione e superconduttori. Proprietà meccaniche dei materiali: elasticità lineare e non lineare, plasticità, frattura.

Principi delle tecnologie di fabbricazione e/o formatura dei materiali per l'ingegneria. Tecnologie dei materiali elettrici.

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 e criteri di valutazione.

Testi consigliati:

J. WULFF *et al.*, *Struttura e proprietà dei materiali*, CEA, Milano, 1975.

A.G. GUY, *Introduction to Materials Science*, McGraw-Hill, New York, 1975.

Il corso viene integrato da *esercitazioni* sugli argomenti trattati.

Propedeuticità consigliate: Chimica, Fisica.

L'**esame** consiste in un colloquio orale riguardante anche gli argomenti trattati nelle esercitazioni.

Tesi di laurea:

Proprietà elettriche di materiali isolanti.

Studio dei processi di degradazione di materiali isolanti per alte tensioni.

10413

SENSORI E TRASDUTTORI

Docente: **Stefano Pirani** 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 resistivi. 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 «star», «daisy-chain», «party-line». 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.

Propedeuticità consigliate: Misure elettriche.

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.

11148

SISTEMI ELETTRICI PER L'ENERGIA

Docente: **Carlo Alberto Nucci** prof. ass

Il corso si propone di fornire gli elementi alla base della progettazione, pianificazione e gestione dei sistemi elettrici 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. Linee in cavo. I parametri primaria e secondari per unità di lunghezza: resistenza, induttanza di servizio, capacità di servizio, conduttanza. La teoria delle linee elettriche in regime permanente: lo schema elettrico a parametri distribuiti; 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. Calcolo elettrico delle grandi linee. La linea considerata come doppio bipolo.

Studio dei flussi di potenza nelle reti (Load flow). Analisi nodale della rete. Determi-

nazione dei coefficiente della matrice delle ammettenze di rete. Il calcolo della ripartizione dei flussi di potenza. Le approssimazioni dei metodi di soluzione. Cenni alle curve delle prestazioni limite dei generatori sincroni trifase.

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.

Sovratensioni di origine esterna e interna. Tipi di sovratensioni. Sovratensioni da fulminazioni indirette. Propagazione e riflessione delle sovratensioni sulle linee. Protezioni preventive e repressive. Cenni al coordinamento degli isolamenti.

Stabilità del parallelo. Stabilità di macchina sincrona collegata a motore sincrono e a rete di potenza infinita. Equazioni del moto. Criterio delle aree. Applicazione del criterio delle aree ad alcuni casi notevoli. 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 (a periodici) di c.c. Richiami 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). Sistemi rapidi e selettivi di protezione contro i c.c. per le linee e per i trasformatori. Cenni alle protezioni dei generatori sincroni trifase. Interruttori a richiusura rapida.

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.

Regolazione della frequenza. La regolazione della frequenza primaria. Cenni alla regolazione della frequenza secondaria ed alla ripartizione del carico attivo tra le centrali di una rete. Regolazione di una rete con centrale pilota e regolazione frequenza potenza per reti interconnesse.

Impiego della corrente continua. Viene accennato ai casi in cui può convenire la utilizzazione di linee in corrente continua, per il trasporto di energia su grandi distanze, per collegamenti in cavo 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) ed è di regola completato da una visita ad una grande sottostazione dell'ENEL, di cui in precedenza viene illustrato in dettaglio lo schema, nonché al Centro operativo distrettuale di controllo (COD) della rete di distribuzione dell'Emilia-Romagna.

Testi consigliati:

D. ZANOBETTI, M. PEZZI, *Lezioni di impianti elettrici*, CLUEB, Bologna, 1981.

- F. ILICETO, *Impianti elettrici*, Pàtron, 1981.
 N. FALETTI, P. CHIZZOLINI, *Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica*, 2 voll. Pàtron, 1987.
 G. MALAMAN, A. GIORGI, M. CALZATI, *Teletrasmissioni al servizio delle reti elettriche di energia*, Pitagora editrice, Bologna, 1988.
 R. MARIN, M. VALTORTA, *Trasmissione ed interconnessione*, V Ed., Cedam, Padova, 1973.

Sono inoltre disponibili dispense tratte dalle lezioni del docente.

10409

SISTEMI ELETTRONICI DI POTENZA NEGLI IMPIANTI ELETTRICI

Docente: **Mauro Loggini** prof. ass.

Il corso si propone di fornire all'allievo i concetti di base dei moderni regolatori statici a tiristori, le loro caratteristiche e il dimensionamento nella regolazione di potenza con carichi attivi e passivi. Si vuole, inoltre, avvicinare lo studente al problema del rifasamento automatico a tiristori e delle misure di grandezze elettriche connesse con onde fortemente distorte dai convertitori statici dipotenza a SCR.

Programma

Richiamo su alcuni strumenti di misura di grandezze elettriche; misure di potenza attiva, reattiva, $\cos \varphi$ con dispositivi a semiconduttore; misure di grandezze elettriche con elevato contenuto armonico.

Convertitori statici: convertitori c.a.-c.c. a semionda e ad onda intera; ponte monofase, trifase semicontrollato e totalcontrollato. Circuiti di sincronizzazione e di innesco. Considerazioni sul circuito equivalente relativo ai convertitori statici. Convertitori statici c.a.-c.c. con carico attivo.

Rifasamento automatico a tiristori. Trasduttori varmetrici; correzione del fattore di potenza con condensatori inseribili mediante tiristori. Tecniche di commutazione e dimensionamento dei gradini.

Regolazione automatica della velocità di un motore in c.c. tramite tiristori.

Convertitori c.c.-c.a.: invertitori serie e parallelo a tiristori. Convertitori c.c.-c.c.: chopper a tiristori.

Propedeuticità consigliate: Elettronica applicata; Misure elettriche; Misure e regolazione degli impianti elettrici.

6776

SISTEMI DI TRAZIONEDocente: **Mario Matassa** prof. ass. (inc.)

(vedi Corso di Laurea in Ingegneria Civile)

11717

STRUMENTAZIONE ELETTRONICA DI MISURADocente: **Antonio Menchetti** prof. ass.

Il corso si propone di presentare gli strumenti elettronici utilizzati nelle misure delle grandezze elettriche illustrandone i principi di funzionamento, le soluzioni circuitali, le diverse cause di errore e le prestazioni.

*Programma***1 - Misure in corrente continua**

Elementi di circuito e loro caratterizzazione: bipoli lineari e non lineari; campioni di fem allo stato solido; amplificatori in CC, amplificatori con compensazione automatica della tensione di offset, amplificatori con compensazione in alternata; amplificatori differenziali; convertitori A/D e D/A.

Strumenti di misura: multimetri numerici.

2 - Misure in corrente alternata

Elementi di circuito e loro caratterizzazione: amplificatore; moltiplicatore analogico; sample-hold; porte logiche.

Circuiti ausiliari: generatori di frequenza campione; maglia ad aggancio di fase (PLL); circuiti logici combinatori e sequenziali.

Richiami di teoria dei segnali: sviluppo in serie di Fourier; trasformata di Fourier; trasformata discreta di Fourier.

Strumenti di misura: oscilloscopio; oscilloscopio a memoria digitale, frequenzimetro numerico; convertitori AC/DC a valor medio, a valore di cresta, a vero valore efficace (a termocoppia ed elettronici); voltmetro vettoriale; fasometro; analizzatore d'onda e di spettro; analizzatore di reti; lock-in amplifier.

Le esercitazioni, svolte in laboratorio, riguardano la determinazione dei parametri caratteristici di alcuni elementi di circuito e l'uso degli strumenti studiati.

Propedeuticità consigliate: Misure Elettriche, Elettronica Applicata.

4153

TECNICA DELLE ALTE TENSIONIDocente: **Giovanni Mazzanti** ricerc. (inc.)

Il corso 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 nel corso 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.

Il corso si collega a monte con quelli di Tecnologie Elettriche, Impianti elettrici e Misure elettriche.

In sintesi il programma del corso 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.

1013

TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTIDocente: **Alessandro Orlandi** prof. ord

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile)

11150

TECNOLOGIE ELETTRICHEDocente: **Gian Carlo Montanari** prof. ass.

L'insegnamento sviluppa ed approfondisce argomenti del corso di Tecnologie elettriche e propone nuove tematiche, come superconduttori e problemi di cariche elettrostatiche, oltre ad occuparsi di tecnologie industriali come forni ad induzione e perdite dielettriche.

Il corso si collega anche con le discipline Tecnica delle alte tensioni e, per quel che concerne l'elettrotermia, con quella di Applicazioni industriali dell'elettrotecnica.

Programma

Tecnologia dei cavi energia - Cavi per alta tensione: a olio fluido, estrusi, a gas, a temperature criogeniche. Degradazione dell'isolante e scarica.

Impieghi industriali dei superconduttori - Superconduttività, materiali superconduttori a basse ed alte temperature. Impieghi dei superconduttori, progetto di cavi per alta tensione a superconduttore.

Condensatori di potenza - Condensatori di potenza per bassa e media tensione: condensatori a dielettrico misto e a tutto film, condensatori autorepristinanti. Problemi connessi alla utilizzazione dei condensatori di potenza in sistemi elettrici con onde di tensione e corrente deformate.

Problemi elettrostatici nell'industria - Generalità sui problemi della formazione di cariche elettrostatiche nei processi industriali. Provvedimenti per ovviare o ridurre gli inconvenienti, con riferimento alla componentistica elettronica, industria elettrica e petrolifera. Misure di cariche elettrostatiche.

Batterie elettriche - Principi di funzionamento. Pile elettriche (tecnologie, caratteristiche di scarica, vita). Accumulatori al piombo e alcalini. Caratteristiche di carica e scarica, capacità, vita. Pile a combustibile.

Elettrotermia - Forni ad induzione, a perdite dielettriche, ad arco. Caratteristiche di funzionamento ed applicazioni industriali. Problemi impiantistici legati all'utilizzazione dei forni elettrici. Generatori ad alta frequenza per forni elettrici. Compensazione della potenza reattiva e distorta negli impianti elettrici che alimentano i forni.

Testi consigliati: vengono forniti appunti preparati dal docente.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA

Programmi delle materie di insegnamento

- 1351 Analisi matematica I
 1355 Analisi matematica II
 1368 Fisica I
 1373 Fisica II
 9757 Geometria e Algebra
 1380 Meccanica razionale
 v. Corso di Laurea in Ingegneria dell'informazione
- 9758 Disegno tecnico industriale
 6797 Fisica tecnica
 1385 Meccanica applicata alle macchine
 7959 Scienza e tecnologia dei materiali elettrici
 v. Corso di Laurea in Ingegneria elettrica

9941

ANALISI DI SICUREZZA NELL'INDUSTRIA DI PROCESSODocente: **Gigliola Spadoni** prof. ass.*Programma*

1. **Introduzione**
- 1.1 *Definizioni di: sicurezza, pericolo, rischio.*
- 1.2 *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.*
- 1.3 *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.*
2. **Rischi specifici delle sostanze e dei preparati chimici**
 Principali parametri (TLV, LEL, UEL, punto di infiamm., ecc.), etichettatura e schede di sicurezza. Le correlazioni di probit per interpretare la risposta di un individuo alla esposizione a radiazioni termiche, sovrapressioni, concentrazioni.
3. **Analisi di sicurezza degli impianti dell'industria di processo: normativa e procedure.**

- 3.1 *Identificazione degli eventi incidentali*: «safety checklists», metodo ad indici (con riferimento specifico alla normativa), HAZOP, FMEA, «safety review».
- 3.2 *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.
- 3.3 *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 modelli. Equazioni di probit per i tossici. Esposizione indoor o outdoor.
Incendi: di jets, pozze e fireballs.
Esplosioni: detonazioni e deflagrazioni, UVCE: semplici modelli di calcolo delle sovrappressioni. Esplosione di polveri. Reazioni esotermiche incontrollabili. Vulnerabilità degli individui e delle strutture.
- 3.4 *Metodi per la mitigazione dei rilasci*: sicurezza intrinseca, rivelazione delle perdite, contenimento. Gestione delle emergenze: procedure di shutdown, evacuazione, rifugi. Procedure per la pianificazione e la gestione delle emergenze industriali.
- 3.5 *Analisi dei rischi di alcune realtà impiantistiche*.
- 3.6 Gestione del rischio di un'area industriale (criteri di accettabilità, valutazioni quantitative, comunicazione).

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).

Testi consigliati:

Per l'elenco dei testi consigliati rivolgersi al Dipartimento di Ingegneria Chimica mineraria e delle Tecnologie Ambientali.

8127

BIOCHIMICA INDUSTRIALE

Docente: **Fabio Fava** ricerc. (inc.)

Programma

1. *Elementi di biologia e di biochimica*

1.1 Le scienze biologiche, la microbiologia, i microrganismi.

1.2 Il ruolo della biochimica. Le biomolecole. Il metabolismo degli organismi e la loro autoreplicazione.

1.3 La cellula. La classificazione delle cellule. Ruolo biologico dei componenti della cellula.

1.4 La classificazione degli organismi viventi. I virus.

2. *Le biomolecole*

2.1 Gli elementi della biosfera. I costituenti e la geometria delle biomolecole.

2.2 L'acqua: struttura e proprietà.

2.3 Gli amminoacidi di interesse biologico e loro proprietà strutturali, chimiche e stereochemiche. Peptidi e proteine. La struttura primaria, secondaria, terziaria e quaternaria delle proteine. Proteine fibrose e globulari: esempi di molecole di interesse biologico. Gli enzimi: specificità. Enzimi semplici ed enzimi complessi. Il meccanismo delle reazioni enzimatiche. Velocità di reazione, equazione di Michaelis-Menten e K_M . Parametri caratteristici dell'attività enzimatica. Meccanismi di inibizione ed inattivazione. Gruppi prostetici. Regolazione della sintesi enzimatica. Gli ormoni proteici e non proteici: funzioni, loro natura ed importanza.

2.4 Le vitamine: loro importanza, classificazione, chimismo e proprietà biologiche.

2.5 I carboidrati: classificazione, struttura chimica. Mono-, di- e poli-saccaridi di interesse biologico.

2.6 I lipidi: struttura chimica e reattività. Lipidi di membrana.

2.7 Composizione e struttura delle unità nucleosidiche. Struttura chimica e proprietà fisiche del DNA e dell'RNA. Concetti di cromosoma e di gene. La trasmissione molecolare dell'informazione genetica. La trascrizione: formazione e ruolo dell'RNA messaggero e sue modifiche post-trascrizionali. La sintesi proteica. Struttura e ruolo dell'RNA di trasferimento. Fasi principali della sintesi proteica, svolgimenti e modificazioni delle catene polipeptidiche prodotte.

3. *La classificazione dei microorganismi*

3.1 Famiglie, generi e specie principali di batteri, lieviti e funghi. Batteri Gram-positivi e batteri Gram-negativi.

3.2 Microorganismi di interesse industriale.

4. *La nutrizione e la crescita microbica*

4.1 Costituenti essenziali dei terreni di coltura. Materie prime nei processi fermentativi di interesse industriale.

4.2 La cinetica di crescita microbica. Colture batch, feed-batch e continue.

4.3 Metodi di studio delle colture microbiche: metodi di sterilizzazione, isolamento di colture pure, metodi di determinazione del numero delle cellule di colture pure e miste.

5. *Il metabolismo*

5.1 Principi generali: vie anaboliche e cataboliche.

5.2 Energia libera e bioenergetica cellulare. Il chimismo dell'ATP e dei legami fosforici. Il chimismo nell'NAD ed il trasporto degli elettroni nei processi ossido-riduttivi.

5.3 La glicolisi come fonte di energia. Il piruvato: formazione, fasi, regolazione. Glicolisi anaerobica, fermentazione alcolica, bilancio energetico. La respirazione aerobica del glucosio: via glicolitica. Ciclo di Krebs o dell'acido citrico. Fosforilazione ossidativa. Bilancio energetico della respirazione aerobica.

6. *Processi fermentativi industriali*

6.1 Produzione di biomassa, produzione di metaboliti primari e secondari, bioconversioni e biodegradazioni.

6.2 Miglioramento dei microorganismi di interesse industriale. Le mutazioni, meccanismi dimutazione e agenti mutageni. Selezione dei mutanti. Ricombinazione batterica. Il DNA ricombinante: enzimi di restrizione, vettori e principi di ingegneria genetica nei microorganismi.

6.3 Fermentazione alcolica e usi industriali del lievito. Lieviti, materie prime, produzione di alcol e di prodotti secondari e distillazione. Produzione di alcol in coltura continua, del lievito e della birra.

6.4 Produzione di cellule microbiche quali fonti di proteine alimentari.

6.5 Microbiologia e chimismo delle fermentazioni anaerobiche (fermentazione acetonebutilica e lattica) e di quelle ossidative (acetica e citrica).

6.6 Produzione di antibiotici. Classificazione degli antibiotici e loro biosintesi.

6.7 Produzioni industriali di alcuni aminoacidi e vitamine.

6.8 Produzione industriale di enzimi e tecniche di immobilizzazione. Proprietà degli enzimi immobilizzati e loro impieghi a livello industriale.

Testi consigliati:

A.L. LEHNINGER, *Principi di biochimica*, Ed. Feltrinelli, 1992.

ABELES R.M., FREY P.A., JENCKS W.P., *Biochimica*, Ed. Piccin, Padova, 1995.

D. MATTEUZZI e P. BRIGIDI, *Chimica delle fermentazioni e microbiologia industriale*, Dispense, Bologna a.a. 1994/95, Libreria Asterisco, Bologna, via Belle Arti 31.

L. FRONTALI, A. SCHIESSER, *Chimica delle fermentazioni e Microbiologia industriale*, Ed. EUROMA, Roma, 1990.

R.Y. STANIER, M. DONDOROFF, E.A. AKELBERG, *Il mondo dei microorganismi*, Ed. Zanichelli, 1978.

1360

CHIMICA (per Chimici)

Docente: **Piero Manaresi** prof. ord.

Programma

Struttura atomica; struttura del nucleo. Elementi e composti. L'atomo; particelle subatomiche stabili. Numero di massa e numero atomico; gli isotopi. Scala dei pesi atomici. La mole ed il numero di Avogadro.

Il nucleo: nuclidi stabili e nuclidi instabili. Decadimento radioattivo e sua velocità. Leggi dello spostamento radioattivo. Il difetto di massa e l'energia di legame del nucleo.

Struttura elettronica degli atomi e legame chimico. La quantizzazione dell'energia ed il

modello atomico di Bohr per l'atomo di idrogeno. Il principio di indeterminazione; la natura dualistica degli elettroni e della luce. L'equazione di Schrodinger nel caso dell'atomo di idrogeno; funzioni d'onda, orbitali atomici e numeri quantici. Lo spin dell'elettrone. Atomi con più elettroni: principio di esclusione di Pauli, regola di Hund e ordine successivo dei livelli energetici. Configurazioni elettroniche degli elementi e sistema periodico.

Concetto di legame chimico: legame ionico. Il legame covalente: sovrapposizione degli orbitali atomici. Legame covalente polare e apolare; legame di coordinazione. Caratteristiche di legame degli elementi del II periodo: geometria molecolare e ibridazione degli orbitali. Legami multipli; risonanza. Legami deboli tra le molecole: i diversi tipi di interazione. Il legame metallico.

Reazione chimica ed equilibrio chimico. L'equazione stechiometrica ed il suo significato quantitativo: calcoli stechiometrici. Le reazioni di ossidoriduzione; numero di ossidazione. Nomenclatura tradizionale e IUPAC per i composti inorganici più comuni.

Sistemi termodinamici. Lavoro e calore: il 1° principio della termodinamica. Energia interna ed entalpia; calori molari. Entalpie standard e calcolo termochimici. Il 2° principio; l'entropia ed il suo significato in termini di probabilità di stato. Trasformazioni spontanee e condizioni di equilibrio per un sistema non isolato: energia libera e lavoro utile. Equilibrio chimico: la costante di equilibrio. Posizione dell'equilibrio ed energia libera standard della reazione. Equilibrio e suo spostamento nei sistemi gassosi, in quelli liquidi omogenei ed in quelli eterogenei. Influenza della temperatura. Calcolo del grado di avanzamento di una posizione all'equilibrio. Equilibri ionici in soluzione acquosa: autoprotolisi dell'acqua, pH e pOH. Acidi e basi secondo Bronsted e Lowry. Acidi e basi poliprotici, idrolisi, soluzioni tampone, titolazioni acido-base e indicatori, elettroliti anfoteri. Calcoli sugli equilibri ionici in soluzione acquosa. Prodotto di solubilità.

Stati di aggregazione della materia ed equilibri tra fasi. Lo stato gassoso: equazione di stato dei gas ideali. I gas reali e l'equazione di Van Der Waals. Lo stato liquido: tensione di vapore e temperatura di ebollizione. Le soluzioni; modi di esprimerne la composizione. La legge di Raoult per le soluzioni ideali e le proprietà colligative. Lo stato solido: solidi amorfi e cristallini. Cristalli ionici, covalenti, molecolari, atomici e metallici.

La regola delle fasi: equilibri di fase ad un componente ed equazione di Clausius-Clapeyron. Diagrammi di stato dell'acqua, del diossido di carbonio e dello zolfo.

Elettrochimica. Potenziali elettrodi; celle chimiche reversibili. Forza elettromotrice di una cella ed equazione di Nernst. La serie dei potenziali standard di riduzione. Pile di uso comune; accumulatori. Pile di concentrazione. Elettrolisi di soluzioni acquose e di sali fusi; leggi di Faraday. Corrosione elettrochimica dei metalli.

Cinetica chimica. Velocità di reazione ed equazione cinetica. Reazioni elementari e reazioni in più stadi. Influenza della temperatura: l'equazione di Arrhenius e la sua interpretazione tramite la teoria degli urti intermolecolari. Meccanismo di reazione e complesso attivato: l'energia di attivazione ed il fattore sterico. Catalizzatori e inibitori; catalisi omogenea ed eterogenea.

Gli elementi chimici. Le famiglie di elementi tipici. I, II e III gruppo: stati di ossidazione, principali composti, proprietà e impieghi. Elementi del IV gruppo: carbonio, silicio e cenni su germanio, stagno e piombo. Elementi del V gruppo: azoto, fosforo e cenni su

arsenico, antimonio e bismuto. Il VI gruppo: ossigeno, zolfo e cenni su selenio e tellurio. Elementi del VII gruppo: fluoro, cloro, bromo e iodio. Elementi di transizione e loro caratteristiche generali: alcuni esempi.

Testi consigliati:

P. CHIORBOLI, *Fondamenti di chimica*, ed. UTET, Torino, 1980.

R.A. MICHELIN, A. MUNARI, *Fondamenti di chimica per ingegneria*, ed. CEDAM, Padova, 1994.

P. MANARESI, E. MARIANUCCI, *Problemi di chimica per ingegneria*, ed. Esculapio, Bologna, 1993.

Esami: Discussione orale di argomenti svolti nel corso, preceduta da una prova scritta consistente in esercizi e calcoli numerici (stechiometria, concentrazioni delle soluzioni, elettrolisi, termochimica, equilibri in fase gassosa, equilibri in soluzioni ioniche).

11703

CHIMICA APPLICATA (per Chimici) (sem.)

Docente: **Andrea Sacconi** ricerc. (inc.)

La prima parte sviluppa argomenti tradizionali, concernenti materiali e servizi per l'industria chimica.

Diagrammi di stato. Equilibri di fasi e sistemi ad 1 e a 2 componenti. Diagrammi ternari.

Acque industriali. Equilibri in soluzione: potere incrostante, aggressivo e corrosivo. Acque per raffreddamento, per caldaia, di processo. Trattamenti delle acque di alimentazione: depurazione, addolcimento, degasazione, demineralizzazione. Acque di rifiuto civili e industriali: depurazione e reimpiego.

Leganti aerei e idraulici. Gesso. Calce, calci idrauliche. Cemento Portland, cementi pozzolanici e di altoforno. Malte. Calcestruzzo. Cemento armato e c.a.p. Normativa italiana.

Combustione. Equazione completa delle reazioni di combustione, principi di termochimica, calore di reazione e calore di combustione, potere calorifico. *Combustibili* solidi: analisi, classificazione, proprietà. Valutazione dei carboni e del coke. Cokizzazione dei carboni fossili, gas di cokeria e catrame, tecnologie. Combustibili gassosi: gas naturale, gassificazione dei combustibili solidi, gas tecnici, gassogeni, tecnologie. Combustibili liquidi. *Petrolio e derivati.* Petrolio greggio: composizione, valutazione tecnologica, distillazione atmosferica e a pressione ridotta. Analisi e valutazione dei prodotti petroliferi. Conversioni termiche, conversioni catalitiche. *Carburanti:* gas di petrolio liquefatti, benzine, cherosene, gasolio, oli combustibili. Solventi idrocarbonici. *Ol lubrificanti. Bitumi.* Carburanti liquidi di sostituzione. Fonti alternative: carburanti di sintesi, liquefazione del carbone, schisti bituminosi, biomasse.

Materiali polimerici. Chimismo di formazione e preparazione degli alti polimeri: poli-condensazione, polimerizzazione, poliaddizione. Proprietà fisiche, chimiche, tecnologiche. Materie termoplastiche e termoindurenti. Classificazione e caratteristiche delle materie plastiche di uso comune, tecnologie di lavorazione. Cellulosa e derivati. Elastomeri naturali e sintetici, proprietà, ottenimento, lavorazione. Materiali espansi. Materiali fibrosi.

Propedeuticità consigliate:

E' indispensabile aver superato l'esame di Chimica e aver frequentato le lezioni di Chimica Organica.

Testi consigliati:

Disegni diagrammi e tabelle utilizzati durante le lezioni, assieme a dispense dattilografate, vengono messi a disposizione degli studenti all'inizio del Corso stesso.

Esami orali, preceduti da una prova scritta di calcoli di bilancio, stechiometria e termochimica.

Tesi di laurea su argomenti del corso, comprendenti bilanci di energia e di materia e dimensionamenti di massima nell'ambito del processo studiato, e verifica di confronto con impianti reali, con eventuali brevi stages presso stabilimenti industriali in località a scelta dello studente.

137

CHIMICA INDUSTRIALE

Docente: **Carlo Stramigioli** prof. ass.

Nel corso 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 del corso. Viene anche presentato un quadro generale sulla struttura e le caratteristiche dell'industria chimica in generale e dell'industria chimica italiana in particolare.

Programma

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. Attualità

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*. Arrostimento 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. PASQUANON, *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.

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.

148

CHIMICA ORGANICADocente: **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 aminoacidi 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.

Modalità d'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.

1384

COSTRUZIONE DI MACCHINE (per Chimici)Docente: **Vincenzo Dal Re** prof. ass.

Il corso si propone di fornire le nozioni fondamentali della progettazione costruttiva e del calcolo di dimensionamento dei componenti strutturali e meccanici delle apparecchiature.

ture chimiche, avuto riguardo anche ai problemi tecnologici, di fabbricazione, nonché agli aspetti della affidabilità e della sicurezza di esercizio.

Programma

Organizzazione del corso: l'ingegnere chimico e i problemi di progetto e costruzione delle apparecchiature chimiche.

Progettazione costruttiva di un recipiente a pressione. Scelta dei materiali.

Problemi tecnologici nella fabbricazione di un recipiente a pressione. Saldature.

Considerazioni economiche sulla costruzione dei recipienti a pressione.

Controlli non distruttivi e collaudi dei recipienti a pressione.

Norme ASME e ANCC sui contenitori.

Stato tensionale membranale nei recipienti cilindrici, sferici, «multisfera», torici.

Stato tensionale ed elasto-plastico nei recipienti cilindrici a parete di forte spessore.

Impostazione della teoria flessionale delle piastre e dei recipienti assialsimmetrici.

Tensioni e deformazioni delle flangie circolari.

Introduzione ai problemi di stabilità dell'equilibrio elastico delle strutture a parete sottile.

Fondamenti di meccanica della frattura.

Esercitazioni: alcuni esempi di apparecchiature chimiche.

Testi consigliati:

V. DAL RE, *Lezioni del corso di Costruzioni di macchine per l'Ingegneria chimica*, Ed. Esculapio, Progetto Leonardo, 1994.

V. DAL RE, *Esercizi del corso*, Ed. Esculapio, 1994.

Norme ASME; Norme ANCC.

Propedeuticità consigliate: Scienza delle Costruzioni, Meccanica applicata alle macchine (o equivalente), Impianti chimici.

Esami. Prova scritta concernente applicazioni pratiche degli argomenti svolti nel Corso. Discussione orale dello svolgimento della prova scritta.

Tesi di laurea di progettazione e sperimentali su recipienti a pressione.

8545

DINAMICA E CONTROLLO DEI PROCESSI CHIMICI

Docente: **Gabriele Pasquali** prof. ass.

Nel corso 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.

Programma

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 un sistema 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. Apparecchiature 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 di 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.

11707

ELEMENTI INTRODUTTIVI DI INGEGNERIA CHIMICA (sem.)Docente: **Carlo Stramigioli** prof. ass. (inc.)

Il corso 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 semi-continui; 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 quantità di moto per un apparato: varie forme, applicazioni.
 - 2.5 Bilancio di energia per un apparato: varie forme; equazioni semplificate; effetto termico delle reazioni chimiche; applicazioni.
 - 2.6 Bilanci di materia e di entalpia per un impianto chimico in regime stazionario: numero di gradi di libertà e specifica base, processi con ricicli; applicazioni. 2.7 Equilibrio liquido-vapore: temperatura di rugiada.

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.*Propedeuticità consigliate:* Chimica, Fisica I.

6793

ELETTROTECNICA (per Chimici)Docente: **Maria Laura Ambrosini** prof. ass.*Programma*

Circuiti elettrici in condizioni stazionarie e quasi stazionarie. Circuiti magnetici lineari e non lineari. Bilancio energetico dei sistemi elettromagnetici. Transitorio dei circuiti elettrici. Circuiti elettrici in corrente alternata. Strumenti di misura. Sistemi trifase: collegamenti a stella e a triangolo; misure di potenze; sistemi trifase con neutro.

Generalità sulle macchine elettriche: ipotesi di campo; perdite nel ferro. Trasformatore: equazioni; rete equivalente; funzionamento a vuoto e in cortocircuito; prove di misura del rendimento; trasformatori voltmetrici e amperometrici; trasformatori trifase.

Generalità sulle macchine rotanti in c.a.: nozioni costruttive; teoria del campo rotante; f.e.m. indotte. Macchine asincrone: principio di funzionamento; equazioni; rete equivalente; coppia elettromagnetica; funzionamento da motore, generatore, freno; curve caratteristiche; avviamento; rotore ad anelli, a gabbia, a doppia gabbia. Macchine sincrone: nozioni costruttive e principio di funzionamento.

Macchine in c.c.: nozioni costruttive; f.e.m. alle spazzole; coppia elettromagnetica. Dinamo ad eccitazione indipendente ed autoeccitata: equazioni; curve caratteristiche. Motori a c.c. eccitati in parallelo e in serie: equazioni, caratteristiche meccaniche; avviamento; regolazione di velocità.

Impianti elettrici: sistemi di distribuzione in c.c., in c.a. monofase e trifase; linee corte a media e a bassa tensione; cadute di tensione in linea; perdite di potenza; rifasamento; linee aeree e in cavo; portata di un conduttore; messa a terra del neutro; cabine; protezione contro gli infortuni: impianto di messa a terra, interruttori a relè.

Testi consigliati:

- 1) F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica Generale*, ed. Pitagora, Bologna.
- 2) Dispense integrative.

Il corso è integrato da *esercitazioni* numeriche.

L'*esame* consiste normalmente in una prova scritta e in una prova orale.

9730

FONDAMENTI DI INFORMATICA (per Chimici e Meccanici P-Z)Docente: **Arnaldo Chiarini** prof. ass.

- Tipi di elaboratori di maggior diffusione. PC, Work Stations e Main Frame.
- Componenti di un elaboratore elettronico (Hardware): Caratteristiche.
- Strutture dati elementari in un elaboratore Strutture dati: liste e alberti. Record e Files. Il Linguaggio Macchina (cenni). Il Software. Sistema Operativo e sue funzioni (MS DOS).

- L'Assembler (cenni). Linguaggi di Programmazione algoritmici: Fortran, Basic, Pascal, C, C⁺⁺. Strutture comuni. Compilatori ed Interpreti di linguaggi di programmazione. Linker e sue funzioni. Librerie. Utilities. Programmi Applicativi.
- Algoritmo: definizione e proprietà.
- Rappresentazione grafica di algoritmi mediante diagrammi a blocchi.
- Programmazione strutturata. Algebra di Kott e sua estensione.
- Il Fortran sua evoluzione e suo impiego nel calcolo scientifico. Il Fortran 77 ANSI.
- Elementi grammaticali e sintattici del Fortran.
- Istruzioni eseguibili: di Assegnazione, di Controllo di Ingresso/Uscita Dati. I costrutti IF-THEN-ELSE e DO.
- Procedure operative per l'edizione, compilazione, link, esecuzione di un programma.
- Errori. Condizionamento di un problema numerico. Propagazione degli errori nelle operazioni aritmetiche.
- Rappresentazione di numeri in basi diverse. Base binaria ed esadecimale. Conversioni. Rappresentazione dei numeri «reali» in virgola mobile.
- Metodi numerici per la soluzione di sistemi di equazioni lineari.
- Metodi diretti, Gauss, Gauss-Jordan.
- Metodi iterativi (Gauss-Jacobi, Gauss-Seidel, SOR).
- Metodi numerici per la ricerca di zeri di funzioni. Integrazione Numerica di funzioni. - Integrazione numerica di equazioni differenziali alle derivate ordinarie. Integrazione di sistemi di equazioni differenziali e di equazioni differenziali di ordine superiore.
- Integrazione numerica di ODE con condizioni al contorno. Metodo alle differenze finite. Metodo dei minimi quadrati. Cenni sul Metodo di Montecarlo. Integrazione Numerica di integrali multipli. Errori.

Testi consigliati:

- G. AGUZZI, M.G. GASPARO, M. MACCONI, *FORTRAN 77 - Uno Strumento per il Calcolo Scientifico*, Pitagora Editrice, Bologna.
- G. MONEGATO, *Fondamenti di Calcolo numerico*, Levrotto e Bella, Torino.
- Per gli studenti interessati ad approfondire gli argomenti relativi al DOS si consiglia il testo: P. NORTON, *Manuale del DOS*, Gruppo Ed. Jackson, Milano.

10404

IMPIANTI BIOCHIMICI

Docente: Carlo Gostoli prof. ass.

Il corso 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. Sterizzazione 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.

503

IMPIANTI CHIMICI

Docente: Ugo Lelli prof. ord.

Oggetto del corso è lo studio di una prima parte delle operazioni fondamentali (unit operations). Scopo del corso è quello di fornire criteri per la scelta e il calcolo dei principali apparati chimici impiegati per tali operazioni, ponendo l'accento sulla comprensione dei fenomeni chimico-fisici che regolano il funzionamento degli apparati stessi.

Programma

1) *Scambiatori di calore.* Richiami sulla trasmissione del calore. Descrizione dei principali tipi di scambiatore di calore e criteri di scelta; progettazione secondo il metodo Kern. Studio dei condensatori e dei ribollitori specie in vista del loro impiego per apparecchiature di distillazione. Standard costruttivi. Tubi alettati. Refrigeranti ad aria. Problemi di coibentazione.

2) *Operazione di trasporto di materia tra fasi gassose e liquide.* Generalità sulle operazioni di scambio di materia. Operazioni continue e discontinue. Apparecchiature a piatti e a contatto continuo. Varie definizioni di rendimento dei piatti e loro correlazione. *Assorbimento e stripping.* Specificazione delle apparecchiature di assorbimento. Calcolo delle colonne d'assorbimento a piatti. Metodi grafici e analitici per sistemi a uno e più componenti. - Fluidodinamica dei piatti. Particolari costruttivi. - Colonne riempite. Perdite di carico e velocità limite. Calcolo del volume delle colonne d'assorbimento. Equazione di Whitman. Metodo delle unità di trasporto. Considerazioni economiche; confronto con le colonne a piatti. Abbinamento di colonne di assorbimento e stripping. Disposizioni impiantistiche. - *Distillazione.* Distillazione continua e discontinua di sistemi binari e a più componenti, in apparati a singolo stadio. Colonna completa. Colonne di arricchimento puro e di esaurimento puro. Gradi di libertà. Sistemi binari: metodi di McCabe Thiele e metodo entalpia concentrazione. Calcolo colonne di distillazione di sistemi a più componenti: metodi Lewis-Matheson. Disposizione a colonne multiple. Regolazione delle colonne di distillazione. Impiego del metodo McCabe Thiele per problemi di regolazione e di verifica. Processi di distillazione discontinui. Distillazione in corrente di vapore. Cenni sulla distillazione azeotropica ed estrattiva. *Operazioni di umidificazione.* Richiamo del diagramma igrometrico per il sistema aria acqua e per sistemi diversi. Principali processi di trasformazione dello stato igrometrico. Umidificazione adiabatica, deumidificazione, raffreddamento dell'acqua. Cenni sul calcolo delle apparecchiature.

3) *Operazioni di miscelazione.* Criteri di scelta della girante. Calcolo della potenza dell'agitatore e dei coefficienti di trasporto di calore (interno). Problemi di scaling-up.

Propedeuticità consigliata: Principi di ingegneria chimica.

Testi consigliati:

D. KERN, *Process Heat Transfer.*

R.E. TREYBAL, *Mass Transfer Operations.*

Per le parti in cui la trattazione non è compresa in tali opere, si può fare riferimento a schemi e diagrammi di calcolo (depositati presso la Biblioteca della Facoltà).

L'esame consiste in una prova scritta articolata su più parti indipendenti.

502

IMPIANTI CHIMICI II

Docente: **Giovanni Camera Roda** prof. ass.

Finalità del corso:

Oggetto del corso è, da un lato, lo studio di alcune operazioni fondamentali dell'industria chimica, a completamento dell'argomento già in parte trattato nel corso 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.

Il calcolo delle torri di 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 in un 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 condi-

zioni 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.

Propedeuticità consigliate: Fisica tecnica, Chimica fisica, Principi di ingegneria chimica.

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 Ambrosiana, 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.

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.

11137

INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE

Docente: **Alceo Gatta** prof. ass.

Nel corso vengono trattati i temi dell'ingegneria chimica ambientale, con particolare riferimento agli interventi tecnologici per la prevenzione dell'inquinamento ambientale. Le linee all'interno delle quali s'inquadrano gli argomenti svolti nel corso sono sinteticamente sotto riportate.

1. Considerazioni introduttive: il processo d'inquinamento ambientale.
 - 1.1. La valutazione d'impatto ambientale nel quadro della normativa della CEE.
 - 1.2. I criteri in base ai quali vengono definite le linee d'intervento per la salvaguardia ambientale.
2. Inquinamento atmosferico. I principali inquinanti atmosferici: cause, sorgenti, effetti. Cenni sulla normativa italiana contro l'inquinamento atmosferico.

- 2.1. Materiale particolato. Gli interventi tecnologici per il controllo delle emissioni di materiale particolato.
- 2.2. Inquinamenti 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 idrico. Le caratteristiche delle acque di rifiuto civili e industriali e il processo d'inquinamento idrico. Cenni sulla normativa italiana contro l'inquinamento idrico. Le linee d'intervento per il controllo dell'inquinamento idrico.
 - 3.1. I processi di trattamento delle acque di rifiuto: processi di pretrattamento e trattamento primario; processi di trattamento secondario; processi di trattamento terziario.
 - 3.2. Gli impianti di depurazione delle acque di rifiuto civili e industriali.
4. Inquinamento del suolo. Il problema dei rifiuti solidi. Cenni sulla normativa italiana relativa alla gestione dei rifiuti solidi.
 - 4.1. Le tecnologie per il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti solidi.
 - 4.2. Gli impianti di trattamento e smaltimento dei rifiuti solidi urbani (RSU).
 - 4.2.1. La discarica controllata.
 - 4.2.2. Gli impianti d'incenerimento.
 - 4.2.3. Gli impianti di recupero.
 - 4.3. Gestione e bonifica di terreni inquinati.

Riferimenti bibliografici e materiale specifico inerente agli argomenti trattati nel corso vengono forniti durante lo svolgimento delle lezioni e delle esercitazioni.

L'esame è costituito da una prova scritta.

663

MACCHINE (per Chimici)

Docente: **Giuseppe Cantore** prof. ass.

Il corso ha per fine lo studio delle macchine a fluido per la conversione di energia, motrici ed operatrici, e dei cicli relativi.

Programma

- Cicli a vapore d'acqua per gli impianti di produzione di energia elettrica.
- Cicli di turbine a gas. Gruppi combinati gas-vapore. La cogenerazione con impianti a vapore e a gas.
- Generatori di vapore.
- Turbine a vapore, ad azione, a reazione e miste. Turbine idrauliche.
- Pompe centrifughe. Pompe volumetriche.
- Compressori alternativi.
- Cicli e circuiti frigoriferi a compressione.
- Motori a combustione interna alternativi.

Testi consigliati:

G. MINELLI, *Motori endotermici alternativi*, Ed. Pitagora.

G. MINELLI, *Macchine idrauliche*, Ed. Pitagora.

G. MINELLI, *Turbine a gas*, Ed. Pitagora.

G. MORANDI, *Macchine ed apparecchiature a vapore e frigoriferi*, Ed. Pitagora.

Propedeuticità consigliate: Fisica Tecnica.

L'esame è costituito da una prova orale.

10019

MATERIALI POLIMERICI

Docente:

Finalità del corso

Il corso si prefigge lo scopo di fornire le conoscenze necessarie all'ingegnere nel settore dei materiali polimerici.

Programma

Classificazione e proprietà generali dei materiali polimerici. Cenni alla sintesi dei polimeri: polimerizzazioni a catena (radicalica, anionica, cationica, stereospecifica) e a stadi; impiego di monomeri a funzionalità >2 e formazione di polimeri ramificati e/o reticolati.

Richiami dei concetti principali di struttura molecolare e microstruttura. Costituzione, configurazione e conformazione delle catene isolate e in massa (polimeri semicristallini e amorfi); transizioni termiche (T_v e T_f) e relativi metodi sperimentali di misura; effetto della struttura molecolare su T_v e T_f .

Elementi di termodinamica applicata ai polimeri. Soluzioni di polimeri; entalpia di miscela e parametro di solubilità; entropia di miscela; conformazione delle macromolecole in soluzione; effetto dei solventi sui polimeri reticolati. Cenni di termodinamica delle miscele di polimeri; diagrammi di stato; valori di T_v e T_f per sistemi miscibili e non miscibili.

Principi delle tecnologie di trasformazione dei materiali polimerici. Cenni di reologia. Metodi di trasformazione; analisi dettagliata di una o più tecnologie di trasformazione.

Principali tipi di materiali polimerici e loro proprietà. Plastomeri, fibre, elastomeri e resine termoindurenti. Materiali compositi: resine, fibre, additivi accoppianti, proprietà. Prove e normativa.

Degradazione e smaltimento delle materie plastiche. Meccanismi di degradazione. Resistenza alla fiamma. Smaltimento di materie plastiche di scarto con riciclo primario, secondario, per combustione, in discarica e per pirolisi con recupero di monomeri.

Testi consigliati:

Macromolecole Scienza e Tecnologia, Pacini Ed., Voll. 1 e 2.

Le Materie Plastiche e l'Ambiente, Grafis Ed.

Materiali polimerici, Pacini Ed.

Materiali polimerici strutturali, Pacini Ed.

Altri testi in lingua inglese potranno essere consigliati durante il corso.

Propedeuticità consigliate: Chimica organica, Chimica applicata, Scienza dei materiali.

3727

METALLURGIA

Docente: **Giorgio Poli** prof. ass.

Finalità

Studio dei materiali metallici in relazione al loro comportamento in esercizio. Scelta ed uso corretto dei materiali nella progettazione di impianti chimici.

Programma

Metallurgia estrattiva: richiami di chimica-fisica e termodinamica metallurgica. La siderurgia. Produzione di alluminio, rame e titanio. L'innovazione: la produzione di polveri metalliche e la sinterizzazione.

Metallurgia fisica: metalli liquidi e passaggio di stato liquido-solido. Lo stato difettivo dei metalli.

Metallurgia applicata: caratteristiche meccaniche dei metalli. Comportamento sotto carico: elasticità e plasticità. Influenza del tempo sul comportamento dei metalli. Scorrimenti viscoso. Resilienza. La rottura dei metalli. Influenza delle modalità di applicazione del carico sul comportamento dei metalli: il fenomeno della fatica. Il controllo dell'avanzamento delle cricche durante l'uso. Comportamento dei metalli alle sollecitazioni chimiche. Controllo dell'interazione metallo-ambiente. Il rinforzo dei metalli alle sollecitazioni meccaniche. Il rinforzo per incrudimento. Il rinforzo per affinamento dei grani. I metodi di affinamento. Il rinforzo per soluzione solida nel caso dei sistemi binari. Il rinforzo per particelle deformabili. Il rinforzo dei materiali mediante particelle indeformabili: i materiali compositi a matrice metallica. I materiali ferrosi: acciai e ghise. Tipi e classi di impiego. La normativa. Materiali non ferrosi: leghe di alluminio, di rame e di titanio.

L'innovazione in campo metallurgico: i nuovi trattamenti termici. Materiali metallici di nuova formulazione per usi speciali. 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 della sicurezza in esercizio. I controlli non strut-

tivi, 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 chimica.

Durante il corso 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. L'esame è costituito da una prova orale.

Testi consigliati:

- 1) Dispense del corso.
- 2) W. NICODEMI, *Metallurgia*, Ed. Masson.

Sono disponibili tesi, sia di tipo sperimentale che compilativo, su vari argomenti che si collegano a quanto trattato nel corso.

6417

PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA I

Docente: **Francesco Santarelli** prof. ord.

Il corso 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, esempi; variabili, equazioni e gradi di libertà; specifiche di verifica, progetto ed esercizio; metodi di calcolo delle variabili dipendenti; 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 moto in un letto filtrante; coefficienti di trascinamento e di sollevamento; applicazioni.
- 4.3. Trasporto di calore: ipotesi di equilibrio termico interfacciale; coefficiente 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 Kottchine 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); per la velocità di generazione dell'energia interna (effetto Joule, irradiazione termica); 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 dimoto, 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.
- HENLEY E.J., SEADER, J.R., *Equilibrium Stage Separation Operations in Chemical 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.

(Sostituisce a tutti gli effetti «7939 Analisi e simulazione dei processi chimici»)

4641

PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA IIDocente: **Franco P. Foraboschi** prof. ord.

Il corso ha per oggetto i fondamenti della progettazione generale degli impianti dell'industria di processo.

1. *Introduzione.*

- 1.1. *La qualità totale:* considerazioni generali; qualità totale e progettazione; sicurezza del prodotto.
- 1.2. *Organizzazione del progetto di un impianto industriale:* fasi della progettazione; documenti di progetto; norme di legge e di buona tecnica; normalizzazioni tecniche; basi economiche dei progetti industriali; tecniche di gestione dei progetti industriali.

2. *Elementi di controllo e ottimizzazione degli impianti chimici.*

- 2.1. *Cenni di teoria dei sistemi:* definizioni e classificazione; stato, controllabilità, osservabilità e stabilità; algebra degli schemi a blocchi; collegamenti elementari dei sottosistemi.
- 2.2. *Il controllo dei processi:* il problema del controllo; principali schemi di controllo (a catena aperta; a retroazione, in cascata, adattivo, inferenziale); controllo tutto-niente; azioni elementari di controllo (proporzionale, integrale e derivativa); applicazioni.
- 2.3. *Cenni sui componenti dei sistemi di controllo:* elementi di misura (di livello, pressione, portata, temperatura, pH, ecc.); trasduttori (pneumatici, elettronici); controllori (pneumatici, elettronici); attuatori (elettrici, idraulici, pneumatici); valvole; dispositivi logici elementari (relais, temporizzatori, ecc.); calcolatori di processo; sistemi esperti.
- 2.4. *Controllo dei principali apparati e processi industriali:* pompe; compressori; processi di miscelazione; scambiatori di calore; caldaie; forni; essiccatori; evaporatori; sistemi refrigeranti; torri di raffreddamento dell'acqua; condizionamento dell'aria; cristallizzatori; centrifughe; estrusori; pH; reattori chimici, ecc.
- 2.5. *Cenni sull'ottimizzazione degli impianti chimici:* processi continui; processi discontinui e semicontinui; sintesi ottimale; vincoli ambientali.

3. *Trasporto e stoccaggio dei materiali.*

- 3.1. *Flusso monodimensionale dei fluidi incompressibili:* condotte in pressione (moto uniforme, moto permanente, moto vario; moto bifase gas-liquido); correnti a pelo libero (moto uniforme, moto permanente, cenni sul moto vario); efflusso da luci (a battente e a stramazzo); applicazioni.
- 3.2. *Flusso monodimensionale di fluidi compressibili (gas perfetti):* moto stazionario isentropico (ugelli di efflusso); moto stazionario adiabatico di una corrente di sezione costante (linee di Fanno e di Rayleigh, diagrammi di Lapple); applicazioni.
- 3.3. *Trasporto dei fluidi:* tubazioni, accessori di linea; impianto di fognatura; impianti di aerazione e di aspirazione localizzata; linee di *blowdown*; trasporto in cisterne; esempi.
- 3.4. *Trasporto dei solidi:* pneumatico; idraulico; trasportatori a nastro, a tazze, a coclea, ecc.; esempi.
- 3.5. *Sistemi di stoccaggio:* serbatoi; vasche; gasometri; depositi e recipienti per gas; sili; cumuli; discariche controllate; accessori; esempi.

4. *Sistemi attivi e passivi di sicurezza (prevenzione e protezione).*
- 4.1. *La sicurezza degli impianti chimici:* rischio d'incendio, esplosione, scoppio, rilascio di sostanze pericolose; rischio elettrico; rischio meccanico (da organi in movimento, da carichi sospesi, ecc.); rischio da calamità naturali; la sicurezza delle strutture; il fattore umano; criteri progettuali.
- 4.2. *Organi di sicurezza:* sfiati e valvole per sovrappressione e depressione; valvole di sicurezza; dischi di rottura; sistemi di soppressione e di arresto di fiamma; apparecchiature antiesplosioni; sistemi di allarme e blocco; sistemi di torcia; sistemi di protezione contro le scariche atmosferiche; impianti di messa a terra; installazioni elettriche a sicurezza; organi di protezione meccanica (regolatori e limitatori di velocità, schermi di protezione, sistemi di frenatura, ecc.); calcoli; applicazioni.
- 4.3. *Sistemi antincendio e contro la dispersione di sostanze pericolose:* l'incendio (combustione, sostanze infiammabili, cause, propagazione, fattori significativi); distanze di sicurezza e di protezione; compartimentazione; elementi costruttivi resistenti al fuoco; filtri a prova di fumo; sistemi di vie d'uscita; aerazione dei locali; intercapedini; dispositivi di sicurezza per i serbatoi di liquidi pericolosi (bacini di contenimento, anelli di raffreddamento, dispositivi a fluido, a saturazione, a doppia chiusura a liquido, a tetto galleggiante, ecc.); rivelatori di gas e vapori, impianti automatici di rivelazione d'incendio (rivelatori termici, di fumo, di fiamma); impianti fissi e mobili d'estinzione (ad acqua, a schiuma, a polvere, a gas inerti, a idrocarburi alogenati); cortine di vapore e di acqua; calcoli; applicazioni.
5. *Sezioni tipiche di impianti chimici industriali:* criteri generali ed esempi di schemi di processo, schemi di marcia (diagrammi P&I), assonometria, fogli di specifica di apparati; opere edili e servizi; regole pratiche di progettazione.

Testi consigliati:

(per l'elenco dei testi consigliati e per la bibliografia essenziale inerente agli argomenti del Corso rivolgersi al Dipartimento di Ingegneria chimica e di Processo).

L'*esame* consiste in una prova orale e comporta l'uso di un *personal computer* per la soluzione degli esercizi.

10402

PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE (Chimici e Ambiente)

Docente: **Franco P. Foraboschi** prof. ord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria per l'ambiente e il territorio)

5802

PROPRIETA TERMODINAMICHE E DI TRASPORTODocente: **Ferruccio Doghieri** ricerc. (inc.)

Scopo del corso è quello di dare una visione unificante, nell'ambito della termomeccanica 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.

Programma

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 Bernoulli; 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 «Transport Phenomena», Wiley Int. Ed., N.Y., 1960.

S. WHITAKER, *Introduction to Fluid Mechanics*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1968.

R. REID, J.M. PRAUSNITZ, 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.

2235

SCIENZA DEI MATERIALI

Docente: **Franco Sandrolini** prof. ord.

Il corso 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.

Programma

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, inviluppi, 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 previsioni 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: processi elementari di degradazione e protezione dei materiali. Resistenza al fuoco dei materiali.

Normativa e prove sui materiali. Repertori di dati sui materiali. Criteri generali di scelta dei materiali in relazione alle condizioni di impiego. Sicurezza, affidabilità e progettazione. Prove di affidabilità sui materiali. Esempi di scelta dei materiali per impieghi funzionali e strutturali.

Testi consigliati:

J. WUFF (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: Chimica applicata, Chimica fisica, Scienza delle costruzioni, Elettrotecnica.

Sono previste *esercitazioni* in aula su applicazioni numeriche relative agli argomenti trattati nel corso ed in laboratorio sulla determinazione sperimentale di alcune proprietà

fisico-meccaniche dei materiali e della loro microstruttura. Nelle esercitazioni si affrontano concretamente anche le tematiche relative alla normativa.

Esame: orale.

Tesi di laurea: Proprietà fisico-meccaniche e microstruttura di materiali polimerici, ceramici, cementizi e compositi. Proprietà ed applicazioni di materiali speciali. Processi tecnologici e produttivi di materiali di interesse tecnico. Argomenti specifici sui materiali, loro tecnologie ed applicazioni proposti dalle industrie.

6801

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (per Chimici, Elettrici e Nucleari)

Docente: **Giovanni Pascale** prof. ass.

Finalità del corso

Il corso si propone di fornire gli elementi di base della meccanica dei solidi e le metodologie per l'analisi strutturale e per la verifica della sicurezza.

Programma

Analisi della deformazione. La deformazione nell'intorno materiale di un punto appartenente ad un mezzo continuo. Componenti speciali di deformazione: Tensore di deformazione. Invarianti di deformazione. Dilatazione cubica. Stati piani di deformazione. Tensore volumetrico e deviatore di deformazione.

Analisi della tensione. Il vettore tensione nell'intorno materiale di un punto appartenente a un mezzo continuo: componenti cartesiane e componenti speciali. Equazioni di Cauchy. Componenti principali e direzioni principali di tensione. Circoli di Mohr della tensione. Stati tensionali staticamente ammissibili. Stati biassiali e monoassiali di tensione.

Il problema dell'equilibrio elastico. Principio dei lavori virtuali (P.L.V.). Leggi dell'elasticità lineare. Isotropia. Leggi di Hooke generalizzate. Incognite, equazioni e metodi di soluzione del problema dell'equilibrio elastico. Teoremi sul lavoro di deformazione: teorema di Clapeyron, teorema di Betti e teorema di Maxwell. Principio di stazionarietà e principio di minimo dell'energia potenziale. Metodo degli elementi finiti (concetti di base).

Il problema di De Saint Venant. Ipotesi. Impostazione generale. Sforzo normale. Flessione semplice retta e deviata. Torsione. Centro di torsione. Casi particolari: sezioni circolari o a corona circolare, sezioni rettangolari. Taglio-flessione. Centro di taglio. Fattore di taglio.

Materiali e sperimentazione. Comportamento meccanico dei materiali da costruzione sotto stato di tensione monoassiale e legami costitutivi. Materiali duttili e fragili. Sperimentazione dei materiali e delle strutture.

La sicurezza strutturale. Valutazione della sicurezza in termini deterministici per stati di tensione monoassiali e pluriassiali. Criteri di crisi: Rankine, Mohr-Coulomb, Tresca, Beltrami, Huber-Mises-Hencky. Valutazione della sicurezza in termini probabilistici. Elementi di analisi limite delle strutture per sollecitazioni flessionali (momenti limite, diagramma momenti-curvature, duttilità, cerniera plastica).

Teoria del cemento armato. Generalità sulla costruzione in cemento armato. Materiali. Ipotesi della teoria statica. Casi principali di sollecitazione: sforzo normale centrato, flessione retta, taglio, pressoflessione retta.

Instabilità dell'equilibrio elastico. Metodo statico e metodo energetico. Esempi ad un grado di libertà con elasticità concentrata. L'asta di Eulero. Iperbole di Eulero e snellezza limite. Metodo Omega. Instabilità progressiva.

Esami

L'esame comprende una prova scritta ed una orale. La prova scritta comporta lo svolgimento di esercizi sui seguenti temi:

— Cinematica dei sistemi rigidi: studio analitico e grafico (catene cinematiche). Statica delle strutture isostatiche: studio e grafico (reazioni vincolari, linee delle pressioni, caratteristiche della sollecitazione). Linea elastica. Applicazioni del P.L.V. ai sistemi rigidi per la ricerca di reazioni vincolari e ai sistemi elastici per il calcolo di spostamenti.

— Analisi delle strutture iperstatiche attraverso i metodi delle forze, degli spostamenti e il P.L.V. Distorsioni e cedimenti vincolari. Telai a nodi fissi e a nodi spostabili. Determinazione delle caratteristiche della sollecitazione e della deformata elastica.

— Studio analitico e grafico delle proprietà inerziali delle sezioni. Determinazione di stati tensionali in sezioni soggette a sollecitazioni semplici (sforzo normale, flessione, torsione, taglio) o composte. Verifiche di resistenza e di stabilità. Verifiche di sezioni in cemento armato. Calcolo del momento ultimo di sezioni omogenee.

Testi di riferimento:

1. A. DI TOMMASO, *Fondamenti di scienza delle costruzioni*, Patron, Bologna.
2. A. CARPINTERI, *Scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna.
3. E. VIOLA, *Scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna.
4. O. BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, Zanichelli, Bologna.
5. E. VIOLA, *Esercitazioni di scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna.
6. G. PASCALE, *Scienza delle costruzioni: esercizi d'esame svolti*, Esculapio-Progetto Leonardo, Bologna.
7. A. CARPINTERI, *Geometria delle masse*, Pitagora, Bologna.
8. M. CAPURSO, *La statica del cemento armato*, Pitagora, Bologna.

10405

SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI CERAMICIDocente: **Carlo Palmonari** prof. ord.*Programma**Introduzione al corso*

La ceramica ed i prodotti ceramici: definizioni, classificazioni. Ceramiche tradizionali e ceramiche speciali.

Microstruttura e proprietà generali dei materiali ceramici

Legami atomici e strutture cristalline dei ceramici. 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. 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, regolarità dell'umidità. Processi a secco e processi a umido. 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.

L'essiccamento

Il sistema argilla acqua e l'essiccamento. Processi di essiccamento.

Gli smalti e la smaltatura

Funzioni degli smalti. Tipi, composizioni, struttura degli smalti ceramici. Caratteristiche e durabilità del 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. Tecnologie di cottura.

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, stovigliera, 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

Ceramici di base di ossidi, nitruri, carburi, boruri. Le caratteristiche meccaniche dei ceramici strutturali. Principi e processi di sinterizzazione.

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:

G. ALIPRANDI, *Principi di Ceramurgia e Tecnologia Ceramica*, Ed. EGIC, Genova. Pubblicazioni specifiche distribuite dal docente.

Esami: L'esame consta di una prova orale.

11241

TEORIA DELLO SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI

Docente: **Massimo Nocentini** prof. ass.

Nel corso vengono forniti gli elementi fondamentali connessi con lo sviluppo di processi chimici. La parte predominante del corso 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 del corso sarà affrontata anche mediante l'uso di un simulatore di processo scelto fra quelli più in uso nell'industria.

Programma

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 delle probabilità, tecnica Monte Carlo. Elementi di teoria delle decisioni: le alternative, i criteri di valutazione, i criteri di decisione (massimo valore atteso, massima utilità).
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 del Corso (disponibili presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica e di Processo).

Esame: consiste in una prova scritta ed in un colloquio.

7951

TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA

Docente: **Giulio Cesare Sarti** prof. ord. (a.s.)

Programma

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-entropia, entalpia-entropia 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 e 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.

Miscela ideali; proprietà.

Miscela 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 indipendenti, 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*, 2^a ed., J. Wiley, 1989.

R. REID, J.M. PRAUSITZ, P. POLING, *The Properties of Gases and Liquids*, McGraw-Hill, 1990.

M.W. ZEMANSKY, M.M. ABBOTT, H.C. VAN NESS, *Fondamenti di termodinamica per ingegneri*, Zanichelli, 1979.

M.M. MODELL, R.C. REID, *Thermodynamics and its applications*, Prentice Hall, 1974.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE**Sede di Bologna****Programmi delle materie di insegnamento**

12087

AFFIDABILITÀ E CONTROLLO DI QUALITÀDocente: **Mario Rinaldi** prof. ord. (inc.)

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 un'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 «routine» 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*, «La Goliardica editrice», Roma.

192

COMUNICAZIONI ELETTRICHE

Docente: **Giorgio Corazza** prof. ord. (inc.)

Programma

Cenni storici sullo sviluppo del mondo delle telecomunicazioni. Rete di telecomunicazioni, servizi offerti. Dimensioni della rete, del mercato e dell'utenza. Ruolo degli standard, organismi internazionali di coordinamento. Integrazione delle tecniche e dei servizi.

Segnali analogici

- Segnali analogici. Potenza ed energia dei segnali. Segnali a energia finita.
- Trasformata di Fourier e sue proprietà. Spettri di ampiezza e di fase. Banda del segnale.
- Sistemi lineari. Quadripoli lineari. Funzione di trasferimento.
- Risposta di un quadripolo lineare ad un segnale. Condizioni di non distorsione. Filtri elettrici.
- Funzioni impulsive. Impulso di Dirac. Risposta impulsiva di un quadripolo.
- Spettro di energia di un segnale. Funzione di autocorrelazione.
- Segnali a potenza finita. Segnali periodici. Serie di Fourier. Potenza dei segnali periodici.
- Spettro di potenza per un segnale a potenza finita. Banda del segnale.
- Segnali e servizi di interesse per le telecomunicazioni. Segnale telefonico. Segnale audio musicale. Segnale televisivo. Segnale video a diverse velocità. Segnale Facsimile.

Problematiche di trasmissione

- Mezzi trasmissivi. Propagazione guidata e propagazione nello spazio libero. Attenuazione, distorsione Banda passante di un mezzo trasmissivo.
- Linee bifilari. Cavi coassiali. Guide d'onda. Guide d'onda dielettriche: fibre ottiche.
- Radio propagazione. Gamme radio e loro problematiche. Sistemi radio via satellite e cellulari.
- Disturbi nei sistemi di trasmissione. Il rumore. Rumore prodotto da un resistore.

Caratterizzazione dei quadripoli: cifra di rumore, temperatura di rumore.

Qualità dei collegamenti analogici. Rapporto segnale/disturbo.

Conversione di frequenza. Modulatore a prodotto. Moltiplicazione a divisione di frequenza.

Gerarchia internazionale dei sistemi multiplex.

Modulazione di ampiezza (AM). Indice di modulazione. Spettro e modulatore AM.

Modulazione d'angolo. Modulazione di frequenza (FM). Spettro e modulatore FM.

Modulazione di fase (PM).

Segnali numerici

Rappresentazione del segnale numerico. Conversione analogico/numerica. Teorema del campionamento (di Shannon). Quantizzazione.

Moltiplicazione a divisione di tempo. Sistemi PCM e loro gerarchia internazionale.

Trasmissione dei segnali digitali. Qualità del collegamento. Tasso di errore e probabilità di errore. Trasmissione di un singolo impulso. Ottimizzazione del ricevitore. Filtro adattato.

Trasmissione di una sequenza di impulsi. Interferenza intersimbolo e sua eliminazione. Criterio di Nyquist.

Sistemi di modulazione per segnali digitali. Sistema OOK. Modulatori a prodotto e sistemi ASK. Sistemi PSK. Sistemi Q-ASK. Sistema FSK.

Problematiche di rete

Rete telefonica. Trasmissione, commutazione, segnalazione. Rete di accesso e rete di transito. Reti per dati. ISDN.

Reti di calcolatori

Cenni storici. Architettura delle reti a strati. Modello di riferimento OSI a 7 strati. Protocolli e interfacce per i vari strati.

Reti locali, protocolli di accesso, standard IEEE 802. Reti in area metropolitana.

Commutazione di circuito e di pacchetto. Reti geografiche, protocolli per le reti pubbliche. Protocollo TCP/IP. INTERNET.

Testi consigliati:

Appunti tratti dalle lezioni.

L. CALANDRINO, G. IMMOVILLI, *Schemi delle lezioni di Comunicazioni Elettriche*, Pitagora Editrice, Bologna.

A.S. TANENBAUM, *Reti di computer*, Gruppo editoriale Jakson, Milano.

Esami: orali preceduti da una parte scritta; è previsto un compito durante il corso.

CONTROLLI AUTOMATICI

Docente: Sergio Beghelli prof. ass. (inc.)

Finalità del Corso

Il corso 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 correttrici anticipatrici, ritardatrici, a ritardo ed anticipo. Sintonizzazione dei regolatori standard.

Esercitazioni

Le esercitazioni sono parte integrante del corso 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. È 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.

201

Costruzione di Macchine (semestrale)

Docente: **Eugenio Dragoni** ricerc. (inc.)

Con riferimento particolare ai risvolti economici e produttivi, il corso illustra le fasi ed il significato della progettazione industriale, fornendo semplici strumenti per l'analisi e la sintesi dei componenti delle macchine.

Elementi di disegno tecnico industriale (Rappresentazione grafica del pezzo secondo proiezioni ortogonali; Quotatura, tolleranze e stato superficiale; Disegni di complessivo e di particolare).

Elementi di tecnologia meccanica (Lavorazioni a caldo: fonderia, stampaggio, laminazione; Macchine utensili: tornio, fresatrice, alesatrice, trapano, rettificatrice).

Il progetto meccanico (Significato e fasi del progetto; Normative e sicurezza; Aspetti economici e produttivi; Progettazione assistita da calcolatore; CAD; Produzione assistita da calcolatore: CAM; Progettazione e produzione integrate: CAD-CAM).

Materiali da costruzione (Acciai, ghise, leghe di alluminio, leghe di magnesio, ceramiche e polimeri).

Analisi dei carichi (Equazioni cardinali della statica; Reazioni vincolari e caratteristiche della sollecitazione; Sistemi staticamente determinati e staticamente indeterminati).

Analisi dello stato di tensione (Tensioni dovute a sforzo normale, taglio, momento flettente e momento torcente).

Analisi dello stato di deformazione (Legge di Hooke; Principio di sovrapposizione degli effetti; Rigidezza a sforzo normale, taglio, momento flettente e momento torcente).

Criteri di resistenza e affidabilità (Criteri della massima tensione normale, della massima tensione tangenziale e della massima energia di deformazione; Calcolo probabilistico e affidabilità).

Fatica dei materiali (Prova convenzionale a flessione rotante; Limite di fatica; Diagrammi di Goodman-Smith e di Haigh).

Applicazioni (Alberi di macchina; Cuscinetti radenti e volventi; Catene di trasmissione; Collegamenti filettati e viti dimanovra; Adesivi industriali; Molle meccaniche; Ruote dentate; Recipienti in pressione; Staffe di fissaggio).

Testo consigliato:

R.C. JUVINALL, K.M. MARSHEK, *Fondamenti della progettazione dei componenti delle macchine*, ETS, Pisa.

Esame

L'esame comprende una prova scritta (circa 2 ore) ed una prova orale (circa 15 minuti).

Propedeuticità

Scienza delle costruzioni; Meccanica applicata alle macchine; Studi di fabbricazione.

11706

DIRITTO DELL'ASSETTO TERRITORIALE (*)

Docente: **Mauro Bernardini** prof. ass.

Programma**I. Generalità**

1. Concetto e partizioni del diritto. Diritto e sanzione; penale, amministrativa, civile. Qualche riferimento comparatistico.

2. Costituzione repubblicana. Tutela del paesaggio e dei beni culturali (art. 9). Tutela dell'iniziativa economica privata (art. 41). Tutela della proprietà ed espropriazione (art. 42). Nazionalizzazioni (art. 43) e privatizzazioni. Ordinamento regionale (artt. 115 ss.) e locale (artt. 128 ss. e L. n. 142/1990).

3. Il Trattato CEE. I fondamenti e gli scopi, originari (1957) e sopravvenuti (1986 e 1992). Il mercato comune, l'unione economica (artt. 2-3, 85-86). Il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri (artt. 100 ss.). La protezione dei consumatori (art. 129 A). Ambiente e urbanistica (art. 130 R ss.).

II. I beni pubblici

4. Beni demaniali e patrimoniali. Demanio necessario ed eventuale. Patrimonio indisponibile e disponibile. Le disposizioni in materia del codice civile (artt. 822 ss.) e delle leggi speciali. In particolare le strade e le acque.

(*) La materia *Diritto dell'assetto territoriale* è attualmente ricompresa in tre corsi di laurea: Ingegneria civile (materia a scelta in un orientamento dell'indirizzo trasporti, annuale); Ingegneria dell'Ambiente e del territorio (materia obbligatoria negli indirizzi georisorse e difesa del suolo, a scelta negli altri indirizzi, semestrale); Ingegneria gestionale (materia a scelta nell'orientamento servizi, semestrale).

In pratica si svolgerà un corso unico, articolato in due semestri, di cui il secondo con la maggiore caratteristica possibile di autosufficienza.

III. *La pianificazione del territorio*

5. La legge urbanistica fondamentale (L.U. n. 1150/1942). I suoi aggiornamenti e integrazioni (1967, 1977, 1985). L'avvento delle Regioni sulla scena dell'urbanistica.

6. Gli strumenti urbanistici generali. Il piano territoriale di coordinamento. Le competenze delle Provincie. La pianificazione comprensoriale e le aree metropolitane.

7. Il piano regolatore generale, P.R.G. Caratteristiche ed effetti. Il procedimento formativo. La fase presso il Comune. La fase presso la Regione.

8. Ancora sul P.R.G.: azionamento (*zoning*) e le destinazioni di zona. Le destinazioni d'uso degli edifici. Le localizzazioni, in particolare delle opere pubbliche statali. Gli *standards* urbanistici. Misure di salvaguardia. I vincoli urbanistici.

9. Gli strumenti urbanistici attuativi. I piani particolareggiati. I piani di lottizzazione. Le lottizzazioni abusive.

10. Gli strumenti urbanistici speciali. In particolare i piani per l'edilizia pubblica residenziale, già economica e popolare, P.E.E.P. e i piani per gli insediamenti produttivi, P.I.P.

11. Il recupero edilizio. Categorie di interventi. Zone di recupero e piani di recupero. I programmi dei parcheggi.

12. Urbanistica. Tutela del paesaggio. Ambiente. Valutazione di impatto ambientale, V.I.A. Legislazione sui rifiuti.

IV. *La tutela del territorio e la proprietà privata*

13. Il controllo puntuale delle costruzioni. La concessione edilizia, l'autorizzazione edilizia, la vigilanza sulle costruzioni e le sanzioni contro l'abusivismo edilizio.

14. La proprietà privata, in genere e immobiliare. La sua configurazione nel Codice civile. Contenuto della proprietà edilizia. Le esternalità, positive e negative. I vincoli. Le distanze fra costruzioni.

15. I diritti reali, specie immobiliari; in particolare: usufrutto, superficie e servitù prediali.

V. *Contratti e impresa*

16. La circolazione giuridica della proprietà e i contratti di scambio. Il contratto di vendita; in particolare immobiliare. La locazione (immobiliare).

17. I contratti di collaborazione. L'appalto, privato e pubblico. La normativa interna e C.E.E. sugli appalti di opere pubbliche. La figura dell'imprenditore; in particolare la figura del costruttore. Lo statuto dell'impresa. Le società; in particolare le società di ingegneria.

18. Il contratto di assicurazione. Le garanzie. Il contratto d'opera professionale. La responsabilità professionale.

Testi consigliati:

Per tutti

1. *Codice civile*, (DE NOVA, Zanichelli, Bologna, 1995-96; in alternativa PATTI, Giappichelli, Torino, 1995-96).

Per gli studenti di *Diritto dell'assetto territoriale*, semestrale e annuale

2. D'ANGELO, *Legislazione urbanistica*, Merano, Napoli, 1993; in alternativa URBANI e CIVITARESE MATTEUCCI, *Diritto urbanistico*, Giappichelli, Torino, 1994.

Per gli studenti di *Istituzioni di diritto pubblico e privato*

- 2A. GALLESIO PIUMA e POLLERI, *Elementi di diritto commerciale*, Giuffrè, Milano, 1996; in alternativa FIALE, *Diritto commerciale*, Simone, Napoli, 1996.

Per un approfondimento sulla proprietà, sul contratto di vendita e su quello di locazione

3. BERNARDINI, *Casi e problemi di diritto privato*, Monduzzi, Bologna, 1995 (parti III e IV).

Per i soli studenti del corso annuale di *Diritto dell'assetto territoriale*

4. ROPPO, *Istituzioni di diritto privato*, Monduzzi, Bologna, 1994, o, in alternativa, G.U. RESCIGNO, *Corso di diritto pubblico*, Zanichelli, Bologna, 1994.

L'esame consisterà in una prova orale di tipo tradizionale.

Data la vastità della materia e la varietà delle parti potranno essere concordati, tra docente e studente, nell'ambito del programma generale, programmi più personalizzati, nel limite del possibile.

256

ECONOMIA POLITICA

Docente: **Alessandro Romagnoli** prof. ass. (inc.)

Finalità

Poiché l'insegnamento si colloca alla base della formazione economico-gestionale impartita nel Corso di laurea, tre sono le sue funzioni. La prima di carattere generale, consiste nel presentare l'ambiente economico in cui si svolge l'attività produttiva, le problematiche e le strutture che lo contraddistinguono (azienda, impresa, mercato, sistema economico). La seconda, di tipo metodologico, tende ad illustrare le modalità, gli schemi e i concetti mediante i quali l'economia politica analizza i diversi fenomeni. La terza, di natura formativa, si concretizza nella scelta di alcuni argomenti di economia politica propedeutici sia per la successiva analisi gestionale che per lo studio economico del settore industriale.

Programma

Parte prima: i problemi economici e la loro trattazione scientifica.

- a) Nascita e sviluppo delle economie capitalistiche.
- b) Trasformazioni strutturali e dinamica industriale.
- c) Dalla realtà economica alla sua spiegazione scientifica: cenni di metodologia.
- d) Profilo storico dell'economia politica.
- e) Il funzionamento del sistema capitalistico nell'analisi economica.

Parte seconda: l'attività di consumo.

- a) Evoluzione del consumo e problemi interpretativi.
- b) Modelli per la determinazione del consumo globale nell'ambito della relazione reddito-consumo.
- c) Modelli per la determinazione del consumo individuale.
- d) Dal consumo alla domanda.
- e) Analisi della domanda.

Parte terza: l'attività di produzione e l'analisi dei sistemi produttivi.

- a) Evoluzione delle strutture produttive.
- b) Divisione del lavoro, taylorismo, fordismo.
- c) Trasformazioni tecnologiche e organizzative.
- d) Il sistema produttivo e la sua concettualizzazione.
- e) Modelli intersettoriali per l'analisi del sistema produttivo.

Parte quarta: il processo produttivo e i modelli microeconomici.

- a) I tre momenti del processo produttivo: azienda, impresa, ambiente operativo.
- b) L'unità tecnica e le teorie della produzione.
- c) Teoria dei processi produttivi.
- d) Teorie neoclassiche di produzione.
- e) Teorie dei costi.

Parte quinta: impresa e struttura dei settori industriali.

- a) Evoluzione dell'impresa e della struttura settoriale delle economie.
- b) Teoria neoclassica dell'impresa e delle «configurazioni industriali».
- c) Analisi non neoclassica dell'impresa e delle «configurazioni industriali».
- d) Il mercato.
- e) Determinazione del livello dei prezzi.

Parte sesta: analisi del sistema economico.

- a) Dai settori «industriali» al sistema economico.
- b) I problemi del sistema economico.
- c) Contabilità del sistema economico nazionale e analisi macroeconomica.
- d) L'attività di investimento.
- e) Modelli di determinazione del livello del reddito.

Testi consigliati:

S. ZAMAGNI, *Economia politica*, N.I.S. (III ed.).

A. ROMAGNOLI, *Esercitazioni di microeconomia*, Liguori Editore.

Appunti delle lezioni.

12563

ECONOMIA E GESTIONE DELL'INNOVAZIONEDocente: **Alessandro Grandi** prof. ass. (inc.)*Obiettivo e contenuti del corso*

Il corso vuole fornire le conoscenze necessarie per comprendere le variabili economico-organizzative che influenzano la gestione del processo di innovazione tecnologica nelle imprese industriali e di servizi. Dopo aver introdotto gli elementi fondamentali di analisi economica dell'innovazione e le condizioni di contesto — economiche e istituzionali — che impattano sulle capacità innovative delle imprese, il corso 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

Il corso 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 innovazione.
 Patrimonio tecnologico e posizione competitiva dell'impresa.
 Il processo innovativo: fasi e decisioni critiche.
 Sviluppo interno e forme di sviluppo esterno del patrimonio tecnologico.
 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: le dimensioni di integrazione interfunzionale.
 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 operativo dei progetti.
 Il controllo economico dei progetti.
 Il ruolo del project manager.
 La gestione multiprogetto.
3. **Analisi dei progetti di investimento**

I calcoli di convenienza economica.

Gli investimenti: tipologie e analisi finanziaria.

Formule d'interesse e di attualizzazione.

Modelli di analisi e valutazione delle alternative d'investimento: VAN, TIR, periodo di recupero, ecc.

L'impianto del quadro fiscale nel calcolo di convenienza degli investimenti.

La valutazione degli investimenti a valenza strategica.

Valutazione e selezione del portafoglio progetti di R&S.

I testi e il materiale didattico saranno indicati a cura del docente all'inizio del corso di lezioni.

251

ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE

Docente: **Andrea Zanoni** prof. ord. (inc.)

Obiettivo e contenuti del corso

Il corso vuole fornire adeguate conoscenze delle principali variabili economico-organizzative dell'impresa.

L'enfasi del corso sarà posta sui principali strumenti economico-finanziari per l'analisi dei fenomeni e per le decisioni e sugli elementi di base della progettazione organizzativa.

Programma

1. *Rappresentazione, analisi e valutazione dei risultati d'impresa.* Il bilancio dell'impresa nella sua articolazione in stato patrimoniale e conto economico. Principi contabili e di valutazione per giungere alla redazione del bilancio: il criterio di competenza, cenni sulla partita doppia, le valutazioni di fine esercizio. Criteri di riclassificazione dei bilanci. Analisi dei bilanci attraverso indici e flussi.

2. *Costi e controllo di gestione.* I costi e la loro utilizzazione per le valorizzazioni di bilancio, per le analisi di redditività e per il controllo. Le tipologie di costo: variabili, fissi, pieni, standard. Il calcolo dei costi di prodotto e il riparto dei costi generali ed indiretti. L'activity based costing. Il punto di pareggio e il margine lordo di contribuzione. La struttura del controllo di gestione e i centri di responsabilità. Il budget e il controllo di gestione.

3. *L'organizzazione aziendale.* L'impresa come sistema di trasformazione. Le relazioni tra impresa e ambiente esterno. Le principali teorie organizzative. Modelli di riferimento per la progettazione organizzativa: strutture, meccanismi e processi. Il coordinamento organizzativo e le modalità per realizzarlo.

Testi di riferimento

L'indicazione dei testi di riferimento per la preparazione dell'eame verrà fornita all'inizio del corso.

Modalità d'esame

L'esame prevede una prova scritta (esercizio/i sulle prime due parti del programma) e una prova orale le cui date verranno comunicate mediante affissione in bacheca presso il CIEG (Via Saragozza, 8) con congruo anticipo.

6794

ELETTROTECNICA

Docente: **Francesco Negrini** prof. ord.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare)

Programma

Campi elettromagnetici.
Teoria delle reti e dei circuiti elettrici.
Macchine ed azionamenti elettrici.

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 di 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.

Laboratorio di Elettrotecnica

Il corso viene integrato normalmente con lo svolgimento di un ciclo di esercitazioni di laboratorio (1 ora alla settimana) relative a: rilievi su reti e circuiti elettrici in corrente alternata (monofase, trifase), rilievi e verifiche sperimentali su transistori elettromagnetici, prove secondo le norme CEI relative al collaudo dei trasformatori ed al collaudo dei motori asincroni. In collaborazione con i docenti delle materie «elettriche» del 4° e 5° anno, viene organizzata una visita guidata agli impianti elettrici di uno stabilimento industriale.

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 alla gestione dell'energia: tecnica ed

economia dell'energia, conversione diretta dell'energia, macchine ed azionamenti elettrici.

Riferimenti bibliografici:

Testi didattici

- F. BAROZZI, F. GASPARINI, *Fondamenti di Elettrotecnica: elettromagnetismo*, UTET, Torino, 1989.
- S. BASILE, *Richiami di Elettromagnetismo*, Pitagora Editrice, Bologna, 1981.
- F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, Pitagora Editrice, 1971.
- L. MERIGLIANO, *Lezioni di Elettrotecnica*, voll. I e II, CLUEP, Padova, 1989.
- C.A. DESOER, E.S. KUH, *Fondamenti di teoria dei circuiti*, 13^a Ed., Franco Angeli Ed., Milano, 1990.
- D. ZANOBETTI, M. PEZZI, *Lezioni di Impianti Elettrici*, CLUEB, Bologna, 1981.
- V. DANIELE, A. LIBERATORE, R. GRAGLIA, S. MANETTI, *Elettrotecnica*, Monduzzi Ed., Bologna, 1994.

4521

FINANZA AZIENDALE

Docente:

Obiettivo e contenuti del corso

Il corso sviluppa le caratteristiche e il ruolo dell'analisi finanziaria nelle imprese con particolare riferimento alle decisioni di investimento e finanziamento relative a progetti di ricerca tecnologica e di creazione delle strutture produttive.

Programma

Il corso si articola in due parti.

1. Gli strumenti e le logiche della finanza aziendale
 - Le valutazioni finanziarie
 - Il concetto di valore e di costo del capitale
 - Le decisioni di investimento
 - I principali criteri di valutazione degli investimenti
 - Le modalità di finanziamento
 - Interazione tra le decisioni di finanziamento e di investimento
 - La pianificazione finanziaria
 - La gestione del capitale circolante.

2. L'applicazione dei modelli finanziari alle decisioni strategiche di natura tecnico-ingegneristica

Le differenze tra investimenti di capital budgeting e gli investimenti strategici di natura tecnico-ingegneristica

Gli investimenti in Ricerca e Sviluppo

Gli investimenti in nuove tecnologie flessibili

La valutazione delle opzioni incorporate nei progetti tecnologici

La componente economico-finanziaria degli studi di fattibilità

Il project financing nelle grandi commesse e nei progetti di ingegneria.

Testi di riferimento

L'indicazione dei testi di riferimento per la preparazione dell'esame verrà fornita all'inizio del corso.

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 affissione in bacheca presso il CIEG (Via Saragozza, 8) con congruo anticipo.

430

FISICA TECNICA (semestrale)

Docente: **Enzo Zanchini** prof. ass. (inc.)

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 - Sistemi semplici in moto o aperti: bilanci di energia e di entropia - Sistemi semplici chiusi monocomponenti - Relazioni termodinamiche - Calori specifici - Equazione di stato e diagrammi $\{p,T\}$, $\{p,v\}$ - Processi politropici - Gas ideali: 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 Calpeyron - Proprietà dei vapori surriscaldati e gas reali - Diagrammi termodinamici $\{T,s\}$, $\{h,s\}$ e $\{p,h\}$ - Proprietà delle miscele di gas ideali - Entropia di mescolamento - Proprietà delle miscele di aria e acqua - Diagrammi $\{j,x\}$ e psicometrico - Misura del grado igrometrico - Ciclo Rankine e ciclo frigorifero a compressione.

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.

Lo svolgimento del corso è accompagnato da *esercitazioni* aventi come oggetto: sistemi di unità di misura, misure pratiche di temperatura, problemi di termodinamica e di irraggiamento termico. L'*esame* consiste in un colloquio orale, comprendente la soluzione di almeno un esercizio.

Testi consigliati:

- E. ZANCHINI, *Termodinamica*, Pitagora, Bologna 1993, a partire dal capitolo 8, escludendo il capitolo 10 ed i paragrafi 19.1 e 19.2 del capitolo 19.
- E. ZANCHINI, *Dispense di Irraggiamento termico*, disponibili presso la Biblioteca della Facoltà di Ingegneria.
- E. ZANCHINI, *Esercizi di Fisica Tecnica per Ingegneria Gestionale*, raccolta disponibile presso la Biblioteca della Facoltà di Ingegneria.

1677

GESTIONE AZIENDALE

Docente: **Andrea Zanoni** prof. ord. (inc.)

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 cercando di abituare gli studenti ad affrontare gli stessi con una logica di processo.

Programma

Il corso prevede una prima fase in cui verranno introdotti i principali processi decisionali esistenti in impresa. Essi, a livello didattico ed in questa fase iniziale, saranno analizzati distinguendo il momento strategico da quello operativo e verranno affrontati con ottiche funzionali.

Gli argomenti trattati 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

La gestione dell'innovazione

La gestione operativa

La gestione commerciale.

In una seconda fase si cercherà 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.

Con un approccio deduttivo, queste esperienze verranno poi razionalizzate e ricondotte ai modelli generali introdotti nella prima parte del corso.

Testi di riferimento

L'indicazione dei testi di riferimento per la preparazione dell'esame verrà fornita all'inizio del corso.

Modalità d'esame

L'esame prevede una prova orale le cui date verranno fissate in base al calendario della Facoltà e comunicate mediante affissione in bacheca presso il CIEG (Via Saragozza, 8) con congruo anticipo.

Si ritiene utile evidenziare che il corso è posizionato al quinto anno ed è destinato a chiudere il percorso formativo di tipo economico-aziendale dell'ingegnere gestionale. Ciò significa che *vengono dati per conosciuti* i contenuti degli esami economico-gestionali, impartiti come discipline obbligatorie nei precedenti anni del corso di laurea. Tali contenuti infatti sono alla base di quasi tutti i ragionamenti necessari per affrontare i diversi problemi gestionali.

Pur non essendo previste propedeuticità formali, gli studenti, nel programmare la sequenza temporale degli esami da sostenere, sono quindi invitati a seguire l'ordine con cui le discipline vengono impartite.

11165

GESTIONE DELL'ENERGIA

Docente: **Enrico Lorenzini** prof. ord. (inc.)

Nozioni di elettrotecnica - Nozioni di termologia e termodinamica - Nozioni di illuminotecnica - Nozioni di Economia Aziendale - Modelli matematici - Statistiche Energetiche - Domande di autovalutazione - Energia ed Exergia.

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.

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 - Nozioni legali - il problema della sicurezza - Attribuzione di costi unitari separati a prodotti ottenuti congiuntamente.

Il fabbisogno energetico dell'umanità e il caso Italia.

4313

MACCHINE (semestrale)

Docente: **Giuseppe Cantore** prof. ass. (inc.)

Il corso ha per fine lo studio della conversione dell'energia nelle macchine a fluido, sia motrici sia operatrici, e dei cicli relativi.

Richiamati i bilanci energetici, le trasformazioni termiche e gli scambi di energia, viene poi svolta la trattazione delle sottoelencate macchine.

- Turbomacchine a gas, loro cicli ed applicazioni peculiari.
- Turbomacchine a vapore, loro cicli ed applicazioni peculiari. I sistemi combinati.
- Pompe dinamiche e volumetriche.
- Compressori dinamici e volumetrici.
- Motori alternativi a combustione interna.

Il corso di lezioni viene completato da esempi ed esercizi numerici e da prove in laboratorio.

Necessarie premesse del corso, oltre le nozioni matematiche di base, sono: la Fisica (meccanica e termodinamica), la Meccanica applicata alle macchine e la Fisica tecnica.

687

MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE

Docente: **Giorgio Dalpiaz** prof. ass.

Il corso 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 piatte 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) Misura 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.

3568

POLITICA ECONOMICA

Docente: Nino Luciani prof. ass.

1. *Fluttuazioni, crescita economica e disoccupazione.* Investimenti - Accumulazione del capitale e crescita economica - Disoccupazione.

2. *Settore pubblico*. Spesa pubblica in beni e servizi - Imposte e trasferimenti - Debito pubblico - Centralismo e federalismo fiscale.

3. *Inflazione*. Inflazione e tassi d'interesse - Moneta, inflazione e tassi d'interesse nel modello dei mercati in equilibrio.

4. *Economia internazionale*. Mercati internazionali dei beni e del credito - Tassi di cambio.

5. *Rapporti tra settore monetario e settore reale*. Intermediazione finanziaria - Evidenza empirica sull'interazione tra variabili nominali e variabili reali - Moneta e ciclo economico nel modello dei mercati in equilibrio - Teoria Keynesiana delle fluttuazioni cicliche.

6. *Politica dei redditi*. Salari ed offerta globale - Controllo «diretto» dei redditi - Controllo delle pressioni salariali e limiti della politica monetaria e del bilancio pubblico - Controllo delle pressioni salariali derivanti dai prezzi oligopolistici - Controllo diretto dei prezzi e misure fiscali - Scala mobile salariale.

7. *Politica industriale*. Strutture di mercato e concorrenza - Strutture di mercato e innovazione tecnologica - Intervento pubblico diretto nei settori produttivi strategici - Regolamentazione pubblica dell'attività economica privata - Sistema dei brevetti - Legislazione antitrust e regolamentazione dei monopoli naturali - Certificazione di qualità.

8. *Programmazione e valutazione dei progetti pubblici*. Analisi costi/benefici - Metodologia per la valutazione e scelta degli investimenti - Problema della definizione degli obiettivi dei progetti di spesa pubblica - Regole per la derivazione dei prezzi ombra - Parametri nazionali - Tecniche di monitoraggio dei progetti pubblici.

Testi consigliati:

R.J. BARRO, *Macroeconomia*, McGraw-Hill Libri Italia, Milano, 1992.

M. BANGEMANN, *Dialogo per l'Europa* (Mercato e politica industriale a confronto, con prefazione di R. Prodi), ed. Il Sole-24 Ore Libri.

N. PARMENTOLA, *Programmazione e valutazione dei progetti pubblici*, Il Mulino, Bologna.

Altri testi integrativi:

A. MARZANO, *Politica economica dei grandi aggregati*, Cacucci ed., Bari.

AA.VV. (a cura di P. Bianchi - G. Gualtieri), *Concorrenza e controllo delle concentrazioni in Europa*, Il Mulino, Bologna.

N. LUCIANI, *Introduzione all'economia con applicazioni di «engineering economy»*, Progetto Leonardo, Bologna.

F.M. SCHERER, *Economia industriale*, Unicopli, Milano.

884

RICERCA OPERATIVADocente: **Paolo Toth** prof. ord. (inc.)*Finalità del corso*

Il corso si propone di illustrare le principali metodologie per la soluzione dei problemi decisionali che si presentano nell'industria e nei servizi.

*Programma**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. Linguaggio SIMSCRIPT II.5.

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.

Problemi polinomiali su grafi

Definizioni relative a grafi orientati e non orientati. Problemi di cammini: raggiungibilità, cammini minimi, cammini in grafi aciclici. Problemi di alberi: alberi ricoprenti a costo minimo, tecniche di parametrizzazione. Tecniche reticolari: CPM, PERT.

Programmazione lineare

Generalità sui problemi di programmazione convessa. Forme canonica e standard di un problema di programmazione lineare. Soluzioni ammissibili e soluzioni 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. Unimodularità. Utilizzazione di un *package* di programmazione lineare.

Algoritmi esatti per problemi NP-difficili

Metodo *Branch and Bound*: schemi di separazione, determinazione dei *bound* (rilassamento per eliminazione di vincoli, rilassamento surrogato, rilassamento lagrangiano, tecnica del subgradiente), calcolo parametrico dei *bound*, procedure di riduzione. Algoritmi per la soluzione ottima dei problemi del *knapsack* singolo e multiplo.

Algoritmi euristici per Problemi NP-difficili

Algoritmi per la determinazione di soluzioni ammissibili. Algoritmi di postottimizzazione. Algoritmi per la soluzione approssimata dei problemi del *knapsack* singolo e multiplo e di problemi di sequenziamento.

Modalità di esame

Prova scritta, e orale.

Testi consigliati:

- C.H. PAPANIMITRIOU, K. STEIGLITZ, *Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity*, Prentice-Hall, 1982.
- 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*, J. Wiley, 1990.
- P. TOTH, *Simulazione numerica*, ETS, Pisa, 1979.
Dispense a cura del docente.

Propedeuticità

Si presuppone la conoscenza degli elementi essenziali del corso di *Fondamenti di informatica*.

11354

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (semestrale)

Docente: **A. Di Leo** prof. ass.

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 di 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.

Propedeuticità: Meccanica Razionale.

11716

SISTEMI DI CONTROLLO DI GESTIONE (corso integrato)

Docente: **Andrea Zanoni** prof. ord. (inc.)

Obiettivo e contenuti del corso

Il corso vuole fornire adeguate conoscenze delle principali variabili economico-aziendali dell'impresa e dell'uso delle stesse come strumenti di controllo della gestione.

L'enfasi del corso sarà posta sui principali strumenti economico-finanziari per l'analisi dei fenomeni e per le decisioni.

Programma

Il corso si articola in tre parti.

1. Rappresentazione, analisi e valutazione dei risultati d'impresa

Il bilancio dell'impresa nella sua articolazione in stato patrimoniale e conto economico.
Principi contabili e di valutazione per giungere alla redazione del bilancio: il criterio di coerenza, cenni sulla partita doppia, le valutazioni di fine esercizio.

Criteri di riclassificazione dei bilanci.

Analisi dei bilanci attraverso indici e flussi.

2. Costi e controllo di gestione

I costi e la loro utilizzazione per le valorizzazioni di bilancio, per le analisi di redditività e per il controllo.

Le tipologie di costo: Variabili, fissi, pieni, standard.

Il calcolo dei costi di prodotto e il riparto dei costi generali ed indiretti.

L'activity based costing.

Il punto di pareggio e il margine lordo di contribuzione.

La struttura del controllo di gestione e i centri di responsabilità.

Il budget e il controllo di gestione.

3. Le principali logiche del controllo direzionale

Il controllo delle attività.

Il controllo dei risultati.

Il controllo direzionale.

I sistemi di reporting.

Testi di riferimento

L'indicazione dei testi di riferimento per la preparazione dell'esame verrà fornita all'inizio del corso.

Modalità d'esame

L'esame, che sarà svolto in modo unitario con il corso integrato di Sistemi organizzativi, prevede una prova scritta e una prova orale le cui date verranno fissate in base al calendario della Facoltà e comunicate mediante affissione in bacheca presso il CIEG (Via Saragozza, 8) con congruo anticipo.

11716

SISTEMI ORGANIZZATIVI (corso integrato)

Docente: **Andrea Zanoni** prof. ord. (inc.)

Obiettivo e contenuti del corso

Il corso vuole fornire adeguate conoscenze delle principali variabili organizzative dell'impresa con particolare riguardo agli elementi di analisi e progettazione delle strutture.

L'enfasi del corso sarà posta sulle modalità di disegno delle organizzazioni con particolare riguardo alla coerenza delle strutture con le variabili di contesto.

Programma

1. L'organizzazione aziendale
 - L'impresa come sistema di trasformazione.
 - Le relazioni tra impresa e ambiente esterno.
 - Le principali teorie organizzative.
 - Modelli di riferimento per la progettazione organizzativa: Strutture, meccanismi e processi.
 - Il coordinamento organizzativo e le modalità per realizzarlo.

2. Gli elementi di progettazione
 - La progettazione delle posizioni individuali.
 - La progettazione della macro struttura.
 - I collegamenti laterali.
 - Il decentramento verticale e orizzontale.
 - I fattori contingenti.

3. Le configurazioni organizzative di base
 - La struttura semplice.
 - La struttura funzionale.
 - La struttura divisionale.
 - Le strutture matriciali.

Testi di riferimento

L'indicazione dei testi di riferimento per la preparazione dell'esame verrà fornita all'inizio del corso.

Modalità d'esame

L'esame, che sarà svolto in modo unitario con il corso integrato di Sistemi di controllo di gestione, prevede una prova scritta e una prova orale le cui date verranno fissate in base al calendario della Facoltà e comunicate mediante affissione in bacheca presso il CIEG (Via Saragozza, 8) con congruo anticipo.

10394

SISTEMI INFORMATIVI

Docente: **Paolo Tiberio** prof. ord. (inc.)

Introduzione ai concetti fondamentali sui sistemi informativi. Architetture hardware orientate ai sistemi per la gestione di transazioni. Architetture cliente/servitore. La comunicazione dei sistemi distribuiti. Sistemi operativi, la gestione della memoria e delle risorse. Il file system, la gestione delle informazioni su memorie permanenti, caratteristiche dei dispositivi.

Struttura logica e fisica degli archivi. Metodologie ed algoritmi per l'accesso con funzioni hash. Metodi per il riordinamento. Indici primari e secondari. Calcolo dei costi di accesso ai dati.

Metodologie di archiviazione dei documenti. Strutture a files invertiti. Metodi che utilizzano signature files.

Sistemi di gestione di basi di dati relazionali (RDBMS). Normalizzazione delle relazioni ed eliminazione delle anomalie. Algebra relazionale. Il linguaggio di interrogazione SQL. Metodi di accesso ai dati e di ottimizzazione delle interrogazioni. Il controllo delle autorizzazioni e la gestione degli accessi concorrenti. Il ripristino delle informazioni in caso di guasti, metodologie hardware e software. Sistemi per la gestione di basi di dati distribuite.

Criteri generali per il progetto di massima e per la valutazione di un sistema informativo.

Metodologie di analisi e di classificazione delle informazioni, il modello Entità-Relazione. Proprietà caratteristiche, vincoli statici e dinamici. Gerarchie di specializzazione. Raccolta dei requisiti di informazione, metodologie di descrizione delle specifiche. Viste parziali ed integrazione. Conversione dello schema concettuale in schema logico.

Testo di riferimento (parziale):

A. ALBANO, *Basi di Dati - Strutture ed algoritmi*, Addison Wesley, 1992.

Sono inoltre disponibili in fotocopia appunti informali rilasciati dal docente.

Testi di consultazione:

S. CERI, *Architettura dei sistemi Informatici*, CLUP, 1994.

G. BELLAVIA, A. CORRADI, L. LEONARDI, *Fondamenti di Informatica II*, Progetto Leonardo, 1993.

R.F. VAN DER LANS, *Introduction to SQL*, Addison Wesley, 1988 (anche in versione italiana).

C. BATINI, G. DE PETRA, M. LENZERINI, G. SANTUCCI, *La progettazione concettuale dei dati*, F. Angeli, 1986.

C. FRANCALANCI, F.A. SCHREIBER, L. TANCA, *Progetto di dati e funzioni*, Progetto Leonardo, 1993.

J. GRAY, A. REUTER, *Transaction Processing: Concepts and Techniques*, Morgan Kaufman, 1994.

C.J. DATE, *An introduction to database systems*, volumi I e II, Addison Wesley, 1985.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE**Sede di Reggio Emilia***(c/o Reggio Città Studi SpA - via Kennedy 17 - 42100 Reggio Emilia
tel. 0522/383232, fax 0522/304217)*

Programmi delle materie di insegnamento

(sono riportati i programmi dei Corsi del I e del II anno e il programma, relativo al III anno, di «Scienza delle costruzioni»; per tutti gli altri programmi dei Corsi relativi al III anno si faccia riferimento a quelli riportati per la sede di Bologna)

1350

ANALISI MATEMATICA IDocente: **E. Obrecht** prof. ord.

Insieme, relazioni, funzioni. Numeri reali e complessi. Successioni in \mathbb{R} e in \mathbb{C} : limiti, successioni reali monotone, il Teorema di Bolzano-Weierstrass. Funzioni reali di una variabile reale: generalità, limiti, continuità, funzioni monotone; operazioni sui limiti e sulle funzioni continue; i teoremi fondamentali sulle funzioni continue. Le funzioni elementari in \mathbb{R} e in \mathbb{C} . Calcolo differenziale per funzioni reali di una variabile reale: derivate, regole di derivazione, i teoremi del valor medio, applicazioni allo studio della monotonia e alla ricerca degli estremi relativi e assoluti delle funzioni; derivate di ordine superiore, formula di Taylor e sua applicazione allo studio del comportamento asintotico e alla classificazione dei punti stazionari. Funzioni convesse. Approssimazione degli zeri di una funzione. Approssimazione globale di una funzione su di un intervallo. Integrale di Riemann di una funzione reale limitata definita su di un intervallo compatto di \mathbb{R} : definizione, proprietà di additività e di linearità, teorema della media, teorema fondamentale del calcolo, integrazione per parti e per mezzo di un cambiamento di variabile. Approssimazione numerica di un integrale. integrale generalizzato e serie numeriche.

*Testi consigliati:*G. GILARDI, *Analisi Uno*, Mac Graw-Hill.J. CECCONI, G. STAMPACCHIA, L.C. PICCININI, *Esercizi e problemi di Analisi Matematica*, vol. I, Liguori.E. LANCONELLI, E. OBRECHT, *Esercizi di Analisi I* (vari fascicoli), Pitagora.

1354

ANALISI MATEMATICA IIDocente: **Giovanni Dore** prof. ord. (inc.)

Spazi normati. Successioni e serie di funzioni. Serie di potenze. Calcolo differenziale per funzioni di più variabili reali. Funzioni implicite. Equazioni differenziali ordinarie. Teoria della misura e dell'integrazione astratta. Integrale di Lebesgue in \mathbb{R}^n . Curve e integrali curvilinei. Campi vettoriali e loro potenziali. Introduzione al calcolo di probabilità.

N.B.: Nel corso del semestre verranno distribuite dispense che copriranno l'intero corso.

CHIMICADocente: **P. Manaresi** prof. ord.

Struttura atomica; struttura del nucleo. Elementi e composti. L'atomo; particelle subatomiche stabili. Numero di massa e numero atomico; gli isotopi. Scala dei pesi atomici. La mole ed il numero di Avogadro.

Il nucleo: nuclidi stabili e nuclidi instabili. Decadimento radioattivo e sua velocità. Leggi dello spostamento radioattivo. Il difetto di massa e l'energia di legame del nucleo.

Struttura elettronica degli atomi e legame chimico. La quantizzazione dell'energia ed il modello atomico di Bohr per l'atomo di idrogeno. Il principio di indeterminazione; la natura dualistica degli elettroni e della luce. L'equazione di Schrodinger nel caso dell'atomo di idrogeno; funzioni d'onda, orbitali atomici e numeri quantici. Lo spin dell'elettrone. Atomi con più elettroni: principio di esclusione di Pauli, regola di Hund e ordine successivo dei livelli energetici. Configurazioni elettroniche degli elementi e sistema periodico.

Concetto di legame chimico: legame ionico. Il legame covalente: sovrapposizione degli orbitali atomici. Legame covalente polare e apolare; legame di coordinazione. Caratteristiche di legame degli elementi del II periodo: geometria molecolare e ibridazione degli orbitali. Legami multipli; risonanza. Legami deboli tra le molecole: i diversi tipi di interazione. Il legame metallico.

Reazione chimica ed equilibrio chimico. L'equazione stechiometrica ed il suo significato quantitativo: calcoli stechiometrici. Le reazioni di ossidoriduzione; numero di ossidazione. Nomenclatura tradizionale e IUPAC per i composti inorganici più comuni.

Sistemi termodinamici. Lavoro e calore: il 1° principio della termodinamica. Energia interna ed entalpia; calori molari. Entalpie standard e calcoli termochimici. Il 2° principio; l'entropia ed il suo significato in termini di probabilità di stato. Trasformazioni spontanee e condizioni di equilibrio per un sistema non isolato: energia libera e lavoro utile. Equilibrio chimico: la costante di equilibrio. Posizione dell'equilibrio ed energia libera standard della reazione. Equilibrio e suo spostamento nei sistemi gassosi, in quelli liquidi omogenei

ed in quelli eterogenei. Influenza della temperatura. Calcolo del grado di avanzamento di una reazione all'equilibrio. Equilibri ionici in soluzione acquosa: autoprotolisi dell'acqua, pH e pOH. Acidi e basi secondo Bronsted e Lowry. Acidi e basi poliprotici, idrolisi, elettroliti anfoteri. Calcoli sugli equilibri ionici in soluzione acquosa. Prodotto di solubilità.

Stati di aggregazione della materia ed equilibri tra fasi. Lo stato gassoso: equazione di stato dei gas ideali. I gas reali e l'equazione di Van Der Waals. Lo stato liquido: tensione di vapore e temperatura di ebollizione. Le soluzioni; modi di esprimerne la composizione. La legge di Raoult per le soluzioni ideali e le proprietà colligative. Lo stato solido: solidi amorfi e cristallini. Cristalli ionici, covalenti, molecolari, atomici e metallici.

La regola delle fasi: equilibri di fase ad un componente ed equazione di Clausius-Clapeyron. Diagrammi di stato dell'acqua, del diossido di carbonio e dello zolfo. Alcuni esempi di diagrammi di stato di sistemi a due componenti.

Elettrochimica. Potenziali elettrodi; celle chimiche reversibili. Forza elettromotrice di una cella ed equazione di Nernst. La serie dei potenziali standard di riduzione. Pile di uso comune; accumulatori. Pile di concentrazione. Elettrolisi di soluzioni acquose e di sali fusi; leggi di Faraday. Corrosione elettrochimica dei metalli.

Cinetica chimica. Velocità di reazione ed equazione cinetica. Reazioni elementari e reazioni in più stadi. Influenza della temperatura: l'equazione di Arrhenius e la sua interpretazione tramite la teoria degli urti intermolecolari. Meccanismo di reazione e complesso attivato: l'energia di attivazione ed il fattore sterico. Catalizzatori e inibitori; catalisi omogenea ed eterogenea.

Gli elementi chimici. Le famiglie di elementi tipici. I, II e III gruppo: stati di ossidazione, principali composti, proprietà e impieghi. Elementi del IV gruppo: carbonio, silicio e cenni su germanio, stagno e piombo. Elementi del V gruppo: azoto, fosforo e cenni su arsenico, antimonio e bismuto. Il VI gruppo: ossigeno, zolfo e cenni su selenio e tellurio. Elementi del VII gruppo: fluoro, cloro, bromo e iodio. Elementi di transizione e loro caratteristiche generali: alcuni esempi.

Chimica Organica. Gruppi funzionali, nomenclatura dei principali composti.

Testi consigliati:

- R.A. MICHELIN, A. MUNARI, *Fondamenti di chimica per ingegneria*, 2^a ed., CEDAM, Padova, 1994.
P. MANARESI, E. MARIANUCCI, *Problemi di chimica per ingegneria*, ed. Esculapio, Bologna, 1993.

Esami: Discussione orale di argomenti svolti nel corso, comprendente esercizi e calcoli numerici (stechiometria, concentrazioni delle soluzioni, elettrolisi, termochimica, equilibri in fase gassosa, equilibri in soluzioni ioniche).

ECONOMIA POLITICADocente: **A. Romagnoli** prof. ass.*Finalità*

Poiché l'insegnamento si colloca alla base della formazione economico-gestionale impartita nel Corso di laurea, tre sono i suoi obiettivi didattici. Il primo, di tipo culturale, è di fornire allo studente una conoscenza adeguata delle modalità degli schemi e dei concetti mediante i quali l'economia politica analizza i diversi fenomeni, e dei problemi che essa affronta. Il secondo, di carattere formativo, consiste nell'avviarlo allo studio dell'ambiente economico in cui si svolge l'attività produttiva delle problematiche che lo contraddistinguono e delle «istituzioni» che lo rendono possibile (azienda, impresa, mercato, sistema economico). Il terzo, di natura propedeutico-professionale, è di metterlo in grado di padroneggiare i principali modelli interpretativi della realtà economica del settore industriale.

A tale scopo il Corso, che ha le caratteristiche di un insegnamento di base prevalentemente orientato a contenuti microeconomici, prevede una sezione monografica volta ad approfondire lo studio dei processi produttivi.

*Programma**1. I problemi economici e la loro trattazione scientifica*

1.1. Nascita e trasformazioni strutturali delle economie industrializzate. 1.2. Dalla realtà economica alla sua spiegazione scientifica: cenni di metodologia. 1.3. Profilo storico dell'analisi dell'economia capitalistica.

2. L'attività di consumo

2.1. Evoluzione del consumo e problemi interpretativi. 2.2. Modelli per la determinazione del consumo globale nell'ambito della relazione reddito-consumo. 2.3. Modelli per la determinazione del consumo individuale. 2.4. Dal consumo alla domanda.

3. L'attività produttiva

3.1. Evoluzione della struttura produttiva. 3.2. Teorie della produzione istantanea. 3.3. Teorie dei costi.

4. Analisi dei processi produttivi (sezione monografica)

4.1. L'unità tecnica di produzione e le sue modalità operative. 4.2. Teoria dei processi produttivi. 4.3. La determinazione dei costi.

5. La gestione dell'attività produttiva: impresa e struttura dei settori industriali

5.1. Evoluzione dell'impresa e della struttura settoriale dell'economia. 5.2. Teoria neoclassica dell'impresa e delle «configurazioni industriali». 5.3. Analisi non neoclassica dell'impresa e delle «configurazioni industriali». 5.4. Il mercato e lo scambio.

6. Analisi del sistema economico: cenni di macroeconomia

6.1. Dai settori industriali al sistema economico. 6.2. I problemi del sistema economico. 6.3. Analisi macroeconomica e contabilità nazionale. 6.4. Modelli per la determinazione del livello del reddito.

Testi consigliati:

S. ZAMAGNI, *Economia politica*, N.I.S. (3^a ed.).

A. ROMAGNOLI, *Esercitazioni di economia*, Liguori Editore.

A. ROMAGNOLI (a cura di), *Teoria dei processi produttivi*, Giappichelli Editore.

ELETTROTECNICA

Docente: **I. Montanari** prof. ord.

Teoria dei campi elettromagnetici

Equazioni di Maxwell in forma locale e integrale in mezzi lineari. Leggi costitutive dei mezzi materiali. Condizioni di continuità sulla superficie di separazione tra due mezzi. Bilanci energetici di un sistema elettromagnetico. Teorema di Poynting. Condizioni iniziali, al contorno e teorema di unicità. Potenziale scalare e potenziale vettore. Soluzioni analitiche di problemi di calcolo di campo elettrico e magnetico. Cenni alla soluzione con metodi numerici. Proprietà dei materiali conduttori, dielettrici e magnetici. Effetto Joule, perdite per isteresi, per correnti parassite e dielettriche. Magneti permanenti. Circuiti magnetici lineari e non lineari. Calcolo dei coefficienti di auto e mutua induzione.

Teoria dei circuiti elettrici

Limiti di validità del regime quasi-stazionario. Circuiti a parametri concentrati, collegamenti in serie e in parallelo, trasformazioni stella-triangolo e triangolo-stella. Metodi generali di analisi dei circuiti: principi di Kirchoff, metodo dei potenziali di nodo, metodo delle correnti di maglia, principio di sovrapposizione degli effetti, teoremi di Thevenin e di Norton. Cenni relativi al principio di compensazione, al principio di reciprocità ed alla applicazione dei teoremi della potenza massima, di Millman, di compensazione, di Cohn e di Tellegen. Metodi generali di studio delle reti in fase transitoria: metodo delle equazioni differenziali, cenni sui metodi operazionali (funzione di trasferimento, trasformata di Laplace), cenni sul metodo delle equazioni di stato. Reti elettriche in regime sinusoidale: grandezze sinusoidali, valore efficace, rappresentazione delle grandezze sinusoidale mediante numeri complessi. Legge di Ohm simbolica. Impedenza di un circuito. Equazioni di Kirchoff simboliche. Studio di circuiti in c.a. mediante il metodo simbolico. Risonanza ed antirisonanza. Potenza attiva e potenza reattiva. Potenza complessa. Additività delle potenze. Gli strumenti elettrodinamici di misura: amperometro, voltmetro, wattmetro. Il rifasamento: calcolo dei condensatori di rifasamento. Sistemi trifase: definizioni e proprietà fondamentali. 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.

Macchine ed azionamenti elettrici

Ipotesi fondamentali relative allo studio delle macchine elettriche. Equazioni interne ed esterne. *Trasformatori*. Principio di funzionamento. Ipotesi di campo. Equazioni interne ed esterne. Relazioni approssimate. Rete equivalente completa. Reti equivalenti semplifi-

cate. Funzionamento a vuoto e in cortocircuito. Misura del rendimento. Trasformatori di misura. Trasformatori trifase. Criteri di scelta dei collegamenti. Parallelo dei trasformatori. Trasformatori speciali: autotrasformatore, trasformatore a 3 avvolgimenti, trasformatore a corrente secondaria costante, trasformatori di fase. *Il campo magnetico rotante*. Caratteristiche costruttive delle macchine rotanti in c.a.. Ipotesi di campo. Campo rotante al traferro generato dalle correnti di un avvolgimento polifase. *Macchine asincrone*. Caratteristiche costruttive. Principio di funzionamento. Equazioni interne. Teorema di equivalenza. Coppia elettromagnetica. Equazioni esterne. Rete equivalente. Condizioni di funzionamento da motore, generatore e freno. 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. Reazione d'armatura nelle macchine a poli lisci e a poli sporgenti, sature e non sature: diagrammi di Behn Eschemburg, di Potier e di Blondel. Parallelo degli alternatori. Coppia elettromagnetica. Alternatore monofase. *Macchine a corrente continua*. Caratteristiche costruttive. F.e.m. indotta in una spira rotorica. 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. Considerazioni tecniche sul funzionamento del motore eccitato in parallelo: avviamento e regolazione della velocità. Motore eccitato in serie. *Motori speciali*: motore asincrono bifase, motore asincrono monofase, motore a collettore a magneti permanenti, motore monofase a collettore, motore a repulsione, motore sincrone a riluttanza, motore sincrone a isteresi, motore sincrone a magneti permanenti, motori passo-passo, motore lineare a induzione, motore brushless. *Elementi di elettronica industriale*. Dispositivi e circuiti a stato solido per il controllo delle macchine elettriche: diodi, transistori, tiristori (SCR, GTO), sistemi di raddrizzamento monofasi e polifasi, controllati e non, chopper ed inverter. Caratteristiche e campi di impiego. *Azionamenti elettrici*. Tipologie, caratteristiche e campi di impiego dei principali tipi di azionamento in c.a. ed in c.c.

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 di 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.

Propedeuticità consigliate

Analisi II, Fisica II.

Riferimenti bibliografici:

Testi didattici

F. BAROZZI, F. GASPARINI, *Fondamenti di Elettrotecnica: elettromagnetismo*, UTET, Torino, 1989.

- S. BASILE, *Richiami di Elettromagnetismo*, Pitagora Editrice, Bologna, 1981.
 G. SOMEDA, *Elementi di Elettrotecnica generale*, Patron Editore, Bologna, 1979.
 L. MERIGLIANO, *Lezioni di Elettrotecnica*, voll. I e II, CLUEP, Padova, 1989.
 F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, Pitagora Editrice, 1971.
 C.A. DESOER, E.S. KUH, *Fondamenti di teoria dei circuiti*, 13^a Edizione, Franco Angeli Editore, Milano, 1990.
 L.O. CHUA, C.A. DESOER, E.S. KUH, *Circuiti lineari e non lineari*, Gruppo Editoriale Jackson, 1989.

Testi consigliati per la consultazione

- K.J. BINNS, P.J. LAWRENSEN, C.W. TROWBRIDGE, *The analytical and numerical solution of electric and magnetic fields*, John Wiley & Sons, Chichester, 1992.
 S. RATNAJEEVAN, H. HOOLE, *Computer-aided analysis and design of electromagnetic devices*, Elsevier, New York, 1989.
 V. CARRESCIA, *Fondamenti di sicurezza elettrica; valutazione dei rischi e analisi dei sistemi di protezione*, Hoepli, 1990.
 S.A. NASAR, *Schaum's 3000 solved problems in Electric Circuits*, McGraw-Hill, New York, 1988.
 D. O'KELY, *Performances and control of electrical machines*, McGraw-Hill, New York, 1991.
 B.W. WILLIAMS, *Power Electronics*, MacMillan, 1992.
 J. HINDMARSH, *Electrical machines and their applications*, Pergamon Press, Oxford, 1991.
 J. HINDMARSH, *Electrical machines and drivers: worked examples*, 2^a Ed., Pergamon Press, Oxford, 1991.
 A.E. FITZGERALD, C. KINGSLEY Jr., S.D. UMANS, *Electric Machinery*, McGraw-Hill, New York, 1989.
 J.M.D. MURPHY, F.G. TURNBULL, *Power electronic control of AC motors*, Pergamon Press, 1988.

FINANZA AZIENDALE (Reggio Emilia)

Docente:

Obiettivo e contenuti del corso

Il corso sviluppa le caratteristiche e il ruolo dell'analisi finanziaria nelle imprese con particolare riferimento alle decisioni di investimento e finanziamento relative a progetti di ricerca tecnologica e di creazione delle strutture produttive.

Programma

Il corso si articola in due parti.

1. **Gli strumenti e le logiche della finanza aziendale**
 - Le valutazioni finanziarie
 - Il concetto di valore e di costo del capitale
 - Le decisioni di investimento
 - I principali criteri di valutazione degli investimenti
 - Le modalità di finanziamento
 - Interazione tra le decisioni di finanziamento e di investimento
 - La pianificazione finanziaria
 - La gestione del capitale circolante.

2. **L'applicazione dei modelli finanziari alle decisioni strategiche di natura tecnico-ingegneristica**
 - Le differenze tra investimenti di capital budgeting e gli investimenti strategici di natura tecnico-ingegneristica
 - Gli investimenti in Ricerca e Sviluppo
 - Gli investimenti in nuove tecnologie flessibili
 - La valutazione delle opzioni incorporate nei progetti tecnologici
 - La componente economico-finanziaria degli studi di fattibilità
 - Il project financing nelle grandi commesse e nei progetti di ingegneria.

Testi di riferimento

L'indicazione dei testi di riferimento per la preparazione dell'esame verrà fornita all'inizio del corso.

FISICA

Docente: **G. Cambi** ric. conf.

1) *Introduzione al corso:*

Grandezze fisiche, unità di misura, il Sistema Internazionale. Analisi dimensionale. Cenni al concetto di variabile aleatoria, variabili aleatorie discrete e continue. Distribuzione e densità di probabilità, valor medio e varianza di una variabile aleatoria. Alcuni esempi: variabile aleatoria binaria, binomiale e gaussiana. Errori di misura, errori casuali e sistematici. Grandezze derivate, legge di propagazione degli errori statistici e sistematici. Cifre certe e cifre significative.

2) *Elementi di calcolo vettoriale:*

Grandezze scalari e vettoriali, regole di somma, proprietà di invarianza dei vettori. Prodotto tra vettori: prodotto scalare, prodotto vettoriale. Momento di un vettore rispetto ad un punto. Derivata di un vettore, derivata di un versore. Integrazione vettoriale, integrale di linea. Gradiente di una funzione scalare. Cenni ad operatori differenziali, divergenza e rotore.

3) *Cinematica:*

Sistemi di riferimento, punto materiale, traiettoria, equazione oraria. Velocità e accelerazione nel moto rettilineo, moto rettilineo smorzato esponenzialmente. Moto verticale di un corpo. Moto armonico semplice. Moti nel piano. Posizione, velocità e accelerazione nel moto piano. Moto circolare e moto parabolico, moto dei proiettili e moto dei pianeti. Cenni al moto nello spazio. Composizione di moti.

4) *Dinamica:*

Concetto di forza. Principio d'inerzia. Secondo principio della dinamica. Quantità di moto. Impulso. Risultante delle forze. Equilibrio. Reazioni vincolari. Classificazione delle forze, forza peso, forza elastica, forza di attrito radente, forza di attrito viscoso, forze centripete, tensione dei fili. Piano inclinato, pendolo semplice. Momento angolare. Momento di una forza.

5) *Moti relativi:*

Dinamica di un punto materiale in un sistema di riferimento in rotazione rispetto ad un sistema di riferimento inerziale. Velocità ed accelerazione relative. Forze inerziali di trasciamento, centrifuga, di Coriolis. Moti rispetto alla terra. Sistemi di riferimento inerziali. Relatività galileiana. Cenni alla teoria della relatività ristretta.

6) *Lavoro ed energia:*

Lavoro, potenza, energia cinetica. Esempi: lavoro della forza peso, lavoro di una forza elastica, lavoro di una forza di attrito radente. Teorema delle forze vive. Forze conservative, energia potenziale. Conservazione della energia meccanica. Forze centrali.

7) *Oscillatore armonico:*

Cenni alle proprietà dell'equazione differenziale dell'oscillatore armonico, energia dell'oscillatore armonico. Somma di moti armonici sullo stesso asse, somma di moti armonici su assi ortogonali. Cenni all'oscillatore armonico forzato.

8) *Dinamica dei sistemi di punti:*

Principio di azione e reazione. Conservazione della quantità di moto e del momento angolare. Centro di massa di un sistema di punti. Teoremi del moto del centro di massa. Teorema di König. Il teorema dell'energia. Urti tra due punti materiali, urto completamente anelastico, urto elastico. Definizione di corpo rigido. Dinamica del corpo rigido, moto di un corpo rigido, rotazioni rigide attorno ad un asse fisso. Momento d'inerzia, teorema di Huygens-Steiner. Pendolo composto, giroscopi. Cenni di statica.

9) *Interazioni fondamentali in natura:*

Interazione gravitazionale, legge di Newton. Massa inerziale e massa gravitazionale. Energia potenziale gravitazionale. Teorema di Gauss. Distribuzione sferica di massa. Interazione elettromagnetica. Interazione elettrodebole e forte.

10) *Cenni di statica e dinamica dei fluidi:*

Pressione, equilibrio statico di un fluido, equilibrio in presenza della forza peso. Principio di Archimede. Viscosità. Moto di un fluido. Regime stazionario. Portata. Teorema di Bernoulli. Moto laminare e moto vorticoso. Numero di Reynolds. Cenni ai fenomeni di superficie. Cenni alle forze di coesione e adesione. Fenomeni di capillarità.

11) *Introduzione alla termodinamica:*

Sistemi e stati termodinamici, equilibrio termodinamico. Definizione di temperatura. Misura della temperatura. Esperimenti di Joule.

12) *Il primo principio della termodinamica:*

Lavoro e calore. Energia interna. Trasformazioni termodinamiche. Processi isoterfici. Capacità termica. Cenni sulla conduzione del calore e sui cambiamenti di fase. Dilatazione termica di solidi e liquidi.

13) *Gas ideali e reali:*

Equazione di stato dei gas. Trasformazioni di un gas. Lavoro e calore. Calori specifici. Trasformazioni cicliche. Gas reali. Equazione di stato. Energia interna. Diagrammi pV. Diagrammi pT. Cenni di teoria cinetica dei gas ideali e reali. Significato cinetico di temperatura e calore.

14) *Secondo principio della termodinamica:*

Enunciati del secondo principio della termodinamica, reversibilità ed irreversibilità. Macchine termiche, lavoro e rendimento. Teorema di Carnot. Temperatura termodinamica assoluta.

15) *Entropia:*

Teorema di Clausius e concetto di entropia. La funzione di stato entropia, entropia del gas ideale. Entropia ed energia inutilizzabile. Entropia e probabilità.

Testi consigliati:

M. ALONSO - E. FINN, *Elementi di fisica per l'università*, vol. 1, Addison Wesley.

R. BLUMM - D.E. ROLLER, *Fisica I*, Zanichelli, Bologna.

D. HALLIDAY - R. RESNICK, *Fisica I*, CEA, Milano.

P. MAZZOLDI - M. NIGRO - C. VOCI, *Fisica*, vol. 1, SES, Napoli.

S. ROSATI, *Fisica generale I*, CEA, Milano.

P. VERONESI - E. FUSCHINI, *Fondamenti di meccanica classica*, CLUEB, Bologna.

M.W. ZEMANSKY et al., *Fondamenti di termodinamica per Ingegneri*, Zanichelli, Bologna.

FISICA II

Docente: S. Zucchelli ric. conf.

Complementi di calcolo vettoriale:

Concetto di campo scalare e vettoriale. Linee di forza, sorgenti, derivata direzionale e gradiente. Campi conservativi. Flusso e teorema della divergenza. Campi solenoidali. Rotazionale e teorema di Stokes. Operatori differenziali.

Elettrostatica:

Legge di Coulomb, definizione di campo e potenziale elettrico, legge di Gauss, dipolo elettrico. Conduttori all'equilibrio elettrostatico. Definizione di capacità, condensatori, energia del campo elettrico. Cenni alle proprietà elettriche della materia, i dielettrici.

Corrente elettrica continua:

Definizione di corrente elettrica, densità di corrente, legge di Ohm, legge di Ohm in

forma locale, effetto Joule. Concetto di forza elettromotrice. Cenni alle reti in corrente continua, leggi di Kirckoff.

Interazione magnetica:

Il campo magnetico, la forza di Lorentz, moto di una carica elettrica in un campo magnetico.

Magnetostatica:

Campi magnetici e correnti elettriche, campo prodotto da un filo indefinito percorso da corrente. Prima e seconda formula di Laplace, legge di Ampere e teorema di Gauss per il campo magnetico, campi magnetici prodotti da spire percorse da corrente, il solenoide, il dipolo magnetico, interazioni tra correnti, definizione di Ampere nel S.I. Cenni alle proprietà magnetiche della materia.

Campi elettromagnetici dipendenti dal tempo:

Legge dell'induzione di Faraday, legge di Lenz. Conservazione della carica elettrica, equazione di continuità, corrente di spostamento ed equazioni di Maxwell.

Campi quasi statici:

Autoinduttanza e mutua induttanza, energia del campo magnetico. Transitori in circuiti RL e RC. Principio di funzionamento di alcuni strumenti per misure elettriche: ponte di Weatston, amperometro e galvanometro a bobina mobile, elettrodinamometri, voltmetro. Cenni ai circuiti in corrente alternata, il trasformatore.

Moti ondulatori:

Definizione di moto armonico semplice, composizione di M.A.S. con il metodo dei fasori. Onde progressive, onde armoniche, onde piane.

Onde elettromagnetiche e loro propagazione nel vuoto:

Le equazioni di Maxwell nel vuoto. Il vettore di Poynting e il teorema dell'energia. Energia e impulso trasportati da un'onda e.m. Pressione di radiazione. Lo spettro e.m., cenni alla produzione di onde e.m., cenni alla polarizzazione.

Ottica geometrica:

Leggi della riflessione e rifrazione. Specchi, diottri piani e sferici, lenti, prismi. Principio di funzionamento di alcuni strumenti ottici: il cannocchiale, il microscopio, l'occhio umano. Fibre ottiche. Cenni alle aberrazioni cromatiche e sferiche. Principio di Huygens, leggi della riflessione e rifrazione. Interferenza, sorgenti coerenti, interferenza prodotta da due o più sorgenti coerenti. Interferenza in film sottili. Diffrazione, potere risolutore di una fenditura.

FONDAMENTI DI INFORMATICA

Docente: **P. Tiberio** prof. ord.

Sistemi di Elaborazione, la struttura dell'elaboratore e le unità di memoria permanente. Sistemi di numerazione, rappresentazione dell'informazione numerica e non numerica.

Il software di base ed il sistema operativo. I linguaggi di programmazione, i compilatori

e gli interpreti. Introduzione all'elaborazione automatica dell'informazione, gli algoritmi ed i programmi.

Il linguaggio Pascal. Le strutture di assegnazione e di controllo. Le strutture dei dati, i vettori, le matrici, le tabelle e gli archivi. Le funzioni e le procedure.

Principi di progettazione dei programmi, criteri per l'analisi dei requisiti, la modularizzazione, il raffinamento e la documentazione. Criteri per la verifica della correttezza e test dei programmi.

La ricorsione. I puntatori, le strutture dinamiche: le liste e gli alberi.

Le strutture dati di tipo relazionale, algebra relazionale, le forme normali.

Algoritmi di base su dati di tipo numerico. Algoritmi fondamentali sulle matrici e sui sistemi di equazioni.

Algoritmi di base su dati di tipo non numerico. Algoritmi di ricerca, di modifica ed ordinamento su tabelle e testi.

Testi consigliati:

C. BATINI et al., *Fondamenti di programmazione dei calcolatori elettronici*, ed. F. Angeli, 1990.

M. LENZERINI, P. ATZENI, *Progetto di programmi in Pascal*, CLUP, 1992.
Fotocopie dei lucidi utilizzati dal docente.

Esercitazioni

Il sistema operativo MS DOS, il word processor, il Turbo Pascal. Progettazione e messa a punto di algoritmi. Formulazione e spiegazione di tesine da far svolgere a gruppi di studenti in laboratorio.

Laboratorio

Sperimentazione su personal computer con MS DOS, Windows e Turbo Pascal.

GEOMETRIA E ALGEBRA

Docente: L. Grasselli prof. ord.

Algebra lineare

Relazioni e funzioni - Operazioni e strutture algebriche: gruppi, anelli, campi.

Matrici - Anello delle matrici quadrate - Matrici ortogonali - Determinante - Trasformazioni elementari sulle matrici e calcolo del determinante mediante riduzione a forma triangolare - Teorema di Laplace - Matrici regolari; inversa di una matrice regolare.

Spazi e sottospazi vettoriali - Sistemi di generatori - Lineare dipendenza - Basi - Dimensione di uno spazio vettoriale (finitamente generato) - Componenti di un vettore - Sottospazi intersezione e somma: relazione di Grassmann.

Trasformazioni lineari e loro proprietà - Isomorfismi - Nucleo e immagine di una trasformazione lineare: equazione dimensionale - Matrici associate a trasformazioni lineari - Rangho di una matrice: teorema di Kronecker - Cambiamenti di base.

Sottospazi affini di spazi vettoriali - Sistemi lineari - Teorema di Rouchè-Capelli - Sistemi lineari normali: teorema di Cramer - Algoritmi di risoluzione dei sistemi lineari - Rappresentazione cartesiana e parametrica dei sottospazi vettoriali.

Richiami sulle equazioni algebriche: molteplicità di una radice, teorema fondamentale dell'algebra - Matrici simili - Autovalori e autovettori di un endomorfismo - Polinomio caratteristico - Molteplicità algebrica e geometrica di un autovalore - Endomorfismi semplici - Diagonalizzabilità (per similitudine) di una matrice.

Spazi affini ed euclidei

Spazi affini - Vettori liberi - Dipendenza affine - Sottospazi affini e loro giacitura - Parallelismo - Affinità - Riferimenti affini e baricentrici - Cambiamenti di riferimento - Rappresentazioni dei sottospazi affini - Condizioni di parallelismo - Fasci di iperpiani - Orientazione degli spazi vettoriali ed affini reali - Semispazi e segmenti - Convessità e semplici - Simmetrie.

Distanze, norme, prodotti scalari - Spazi vettoriali euclidei - Basi ortogonali e ortonormali - Ortogonalità tra sottospazi - Matrice e determinante di Gram.

Spazi euclidei - Riferimenti cartesiani - Ortogonalità tra sottospazi euclidei - Distanza euclidea; distanza tra sottospazi - Similitudini e uguaglianze; classificazione dei movimenti in dimensione uno, due e tre - Aree e volumi.

Spazi proiettivi e teoria delle quadriche

Spazi e sottospazi proiettivi - Proiettività - Riferimenti proiettivi - Rappresentazione di sottospazi proiettivi - Carte affini su uno spazio proiettivo - Ampliamento proiettivo di uno spazio affine - Punti impropri: coordinate omogenee e non omogenee.

Forme bilineari: rappresentazione matriciale - Forme quadratiche - Matrici congruenti - Diagonalizzabilità per congruenza - Diagonalizzabilità delle matrici simmetriche reali - Forme canoniche in campo complesso - Indice e sigla: forme canoniche in campo reale - Criterio di Sylvester.

Quadriche - Supporto e vertice - Punti coniugati e polarità - Rette e piani tangenti - Classificazione proiettiva ed affine di coniche e quadriche reali complesse - Centro e iperpiani diametrali - Proprietà di simmetria - Assi ed iperpiani principali - Quadriche di rotazione - Circonferenze e sfere - Equazioni canoniche e classificazione euclidea - Fuochi di una conica - Fasci di coniche.

Testi consigliati:

- C. GAGLIARDI - L. GRASSELLI, *Algebra lineare e Geometria*, Volumi I, II, III, Ed. Esculapio, Bologna.
- L. CAVALIERI D'ORO - L. GUALANDRI, *Esercizi di Algebra e Geometria*, Volumi I, II, III, Ed. Esculapio, Bologna.

MECCANICA RAZIONALEDocente: **A. Muracchini** prof. ass.

Il corso è dedicato ai sistemi con un numero finito di gradi di libertà; ci si ispira al criterio di procedere ad una graduale generalizzazione degli schemi descrittivi, prendendo le mosse dalla trattazione newtoniana e passando successivamente allo schema lagrangiano-hamiltoniano della meccanica generalizzata, con estensione al caso di sollecitazioni aleatorie.

Il corso ha, come fine primario, quello di permettere allo studente di acquisire una prima conoscenza e padronanza dei *modelli matematici* che sono alla base dello studio dei sistemi meccanici cercando così di creare la «forma mentis» adatta ad affrontare, nel seguito degli studi, la *modellizzazione* anche non deterministica dei problemi, che risulta il primo e, spesso, fondamentale passo per la loro risoluzione.

A tale scopo, ampio spazio viene riservato all'uso di metodi matematici in parte già sviluppati nei corsi di Analisi e Geometria ed in parte introdotti ad hoc durante lo svolgimento del programma.

Vettori applicati

Sistemi di vettori applicati, legge di distribuzione dei momenti, invariante scalare, asse centrale, operazioni elementari, equivalenza, riduzione, centro dei sistemi di vettori paralleli.

Cinematica del punto

Generalità, rappresentazione di velocità ed accelerazione, moti piani in coordinate polari, velocità areale, moti centrali.

Cinematica del corpo rigido

Condizione di rigidità di un corpo, rappresentazione della velocità angolare e formule di Poisson, legge di distribuzione delle velocità, classificazione dei moti rigidi, atto di moto, teorema di Mozzi.

Cinematica dei moti relativi

Teoremi di composizione delle velocità e delle accelerazioni, rotolamento di curve e superfici rigide.

Moti rigidi piani

Generalità, centro istantaneo di rotazione, traiettorie polari.

Cinematica dei sistemi

Vincoli e loro classificazione, sistemi olonomi ed anolonomi, spazio delle configurazioni, spostamenti possibili e virtuali, spostamenti reversibili ed irreversibili.

Geometria delle masse

Massa e densità, baricentro.

Momento di inerzia, matrice di inerzia, assi principali di inerzia, ellissoide di inerzia, ricerca degli assi principali di inerzia.

Cinematica delle masse

Quantità di moto, momento della quantità di moto, energia cinetica, teorema del moto del baricentro, moto relativo al baricentro, primo e secondo teorema di König, struttura della energia cinetica di un sistema olonomo.

Lavoro e Potenziale

Forza, lavoro e potenza di una forza, forza conservativa e potenziale, superfici equipotenziali e linee di forza, lavoro di un sistema di forze, lavoro di un sistema di forze applicate ad un corpo rigido e ad un sistema olonomo, sistemi di forze conservative.

Principi della meccanica

Leggi del moto di Newton, sistemi di riferimento non inerziali.

Introduzione alla dinamica dei sistemi

Equazioni cardinali della dinamica, teoremi della quantità di moto, del momento della quantità di moto e della energia cinetica, integrali primi corrispondenti.

Statica del punto

Quiete ed equilibrio, punto vincolato su una curva e su una superficie prive di attrito, attrito, reazioni vincolari, vincoli ideali, punto vincolato su una curva e su una superficie con attrito, statica relativa del punto.

Equazioni cardinali della statica

Equazioni cardinali della statica, applicazioni all'equilibrio di un corpo rigido vincolato, equilibrio di sistemi costituiti di corpi rigidi.

Principio dei lavori virtuali

Principio dei lavori virtuali, applicazioni all'equilibrio di un corpo rigido vincolato, equilibrio di un sistema olonomo.

Dinamica del punto

Integrale generale e integrali particolari del moto, integrali primi del moto, dinamica del punto materiale libero.

Oscillazioni armoniche, moti smorzati, oscillazioni forzate. Generalità sulle oscillazioni non lineari.

Cenni di dinamica relativa del punto.

Dinamica dei sistemi

Integrale generale e integrali particolari del moto, integrali primi del moto, dinamica del corpo rigido.

Corpo rigido con un punto fisso, equazioni di Eulero. Cenni sui moti giroscopici e sui moti alla Poinsot.

Analisi qualitativa del moto

Sistemi non autonomi e sistemi autonomi, spazio delle fasi, sistemi ad un grado di libertà: piano delle fasi. Punti fissi e punti di equilibrio, sistemi conservativi e curve di livello della energia, diagramma di fase. Diagramma di biforcazione per i sistemi dipendenti da un parametro.

Meccanica analitica

Disuguaglianza variazionale della dinamica, principio di D'Alembert, equazioni di Lagrange del moto e dell'equilibrio dei sistemi olonomi, caso delle forze conservative, lagrangiana, potenziale generalizzato, funzione di dissipazione. Integrali primi: coordinate cicliche. Formulazione del primo ordine delle equazioni del moto, equazioni del moto di Hamilton.

Stabilità e piccole oscillazioni

Stabilità dell'equilibrio: stabilità alla Ljapunov, teorema di Ljapunov, teorema di Lagrange-Dirichlet, studio del potenziale nelle configurazioni di equilibrio, piccole oscillazioni, lagrangiana approssimata, equazioni linearizzate, frequenze proprie di oscillazione, coordinate normali.

Analisi delle oscillazioni

Cenni sulle serie di Fourier e sull'integrale di Fourier, rappresentazione di Fourier di funzioni periodiche ed aperiodiche, spettri d'ampiezza e di fase.

Oscillazioni lineari forzate (ad 1 grado di libertà)

Caso di sollecitazioni sinusoidali, impedenza meccanica, risonanza. Sollecitazioni periodiche ed aperiodiche, funzione di trasferimento, funzione di risposta impulsiva. Risposta di un oscillatore lineare ad una sollecitazione aleatoria stazionaria: caratterizzazione statistica, funzioni di autocorrelazione. Sollecitazione con rumore bianco, caratteristiche della risposta per un sistema a banda stretta.

Elementi di teoria dei processi stocastici

Funzioni di ripartizione e densità di probabilità dei vari ordini. Processi stazionari, processi ergodici, funzioni di autocorrelazione per un processo stocastico stazionario e densità spettrale di potenza.

Complementi di probabilità e statistica

Alcune distribuzioni di probabilità notevoli. Popolazione e campioni, inferenza statistica, campionamento, riassunti campionari. Stimatori e loro proprietà, stime puntuali e per intervalli per medie, somme e differenze, varianze. Stime di massima verosimiglianza, stimatori di Bayes.

Testi consigliati:

C. CERCIGNANI, *Spazio, tempo, movimento*, Zanichelli, Bologna.

M. FABRIZIO, *La meccanica Razionale e i suoi metodi matematici*, Zanichelli, Bologna.

G. GRIOLI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Ed. Cortina, Padova.

F. BAMPI, M. BENATI, A. MORRO, *Problemi di meccanica razionale*, Ecig, Genova.

A. MURACCHINI, T. RUGGERI, L. SECCIA, *Laboratorio di meccanica razionale*, Ed. Esculapio, Bologna.

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

Docente: A. Di Leo prof. ass.

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: prestazioni cinematiche e statiche - sistemi labili, isostatici ed iperstatici - sistemi staticamente impossibili, determinati ed indeterminati - sistemi piani di travi: caratteristiche di sollecitazione e loro equazioni indefinite; studio analitico e grafico, curva delle pressioni - strutture reticolari piane.

Geometria delle masse - Sistemi discreti: baricentro e momenti statici - sistemi continui: baricentro, momenti statici, momenti d'inerzia, momenti d'inerzia rispetto ad assi paralleli (teorema di Huyghens), teorema del trasporto per il momento centrifugo, leggi di variazione del momento d'inerzia rispetto ad assi di direzione variabile, 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 - componenti di deformazione e loro significato fisico - reciprocità degli spostamenti - componenti e direzioni principali - coefficiente di dilatazione cubica - deviatore di deformazione - misura di dilatazioni lineari specifiche mediante estensimetri elettrici a variazione di resistenza.

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 - stato elastico lineare di materiali isotropi - il problema dell'equilibrio per i solidi in stato elastico lineare: principio di sovrapposizione degli effetti ed unicità della soluzione (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 - Formulazione del problema - casi di sollecitazione semplice nelle travi - sforzo normale centrato - flessione retta - sforzo normale eccentrico - torsione: sezione circolare, sezioni sottili aperte, sezioni sottili cave - taglio-flessione: trattazione di Jourawski, centro di taglio.

Criteri di 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, Pàtron Ed., Bologna, 1981.
- A. DI TOMMASO, *Fondamenti di Scienza delle Costruzioni*, Parte II, Pàtron Ed., Bologna 1993.
- E. VIOLA, *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni/1 - Strutture isostatiche e geometria delle masse*, Pitagora Ed., Bologna, 1993.
- E. VIOLA, *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni/2 - Strutture iperstatiche e verifiche di resistenza*, Pitagora Ed., Bologna, 1993.
- G. PASCALE, *Scienza delle Costruzioni - Esercizi d'esame svolti*, Prog. Leonardo, Bologna, 1993.

Propedeuticità: Meccanica Razionale.

7433

TECNICA DEL CONTROLLO AMBIENTALE

Docente: **A. Cocchi** prof. ord.

Finalità del corso

Il corso 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 ciascuno di essi vengono fornite le leggi elementari del fenomeno fisico e della risposta fisiologica e gli elementi tecnici di base necessari per effettuarne 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 della prima parte del corso (comune al corso di durata semestrale)

Elementi di termodinamica del moto dei fluidi

MOTO DEI FLUIDI COMPRIMIBILI — Il concetto di comprimibilità nella realtà delle applicazioni. Strato limite comprimibile. La velocità di propagazione delle onde di pressione. Casi di studio.

Elementi di bioenergetica

BENESSERE TERMOIGROMETRICO — Il metabolismo del corpo umano. Scambi combinati

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 termoisometrico. 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 termoisometrico degli ambienti confinati. Analisi termoisometrica 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 del corso

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 626/94: 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:

Manuale di Progettazione Edilizia, vol. 2, *Criteri ambientali e impianti*, Ed. Hoepli, Milano.

A. COCCHI, *Inquinamento da rumore*, Maggioli Ed., Rimini.

I testi di legge di interesse.

E. BORTOLOTTI, A. BOCCOLARI, *Condizionamento dell'aria negli edifici, problemi tecnici, fattori di rischio, patologie*, Pitagora Ed., Bologna.

A. COCCHI e altri, *La legge quadro sull'inquinamento acustico*, Maggioli Ed., Rimini.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**Programmi delle materie di insegnamento**

Per le seguenti materie:

- 1349 Analisi matematica I
- 1353 Analisi matematica II
- 9268 Economia e organizzazione aziendale
- 1366 Fisica I
- 1370 Fisica II
- 9757 Geometria e Algebra
- 1378 Meccanica razionale
v. Corso di Laurea in Ingegneria meccanica

- 4125 Consolidamento dei terreni
- 275 Elettrotecnica (sem.)
- 430 Fisica tecnica
- 10203 Geotecnica (sem.)
- 490 Idraulica
- 6801 Scienza delle costruzioni
v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile

- 9758 Disegno tecnico industriale
v. Corso di Laurea in Ingegneria Chimica

10426

ANALISI STRUMENTALE E CONTROLLO DEI MATERIALI (semestrale)

Docente: **Giorgio Timellini** prof. ass. (inc.)

Programma

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.

Elementi di metrologia e analisi strumentale

- Aspetti generali delle misure di grandezze.
- Criteri di scelta dello strumento di misura, in funzione delle più importanti caratteristiche (ad esempio, sensibilità, precisione, etc.). Teoria degli errori.
- Modalità di esecuzione della misura e criteri di definizione, scelta e raccolta del campione. Definizione delle condizioni che consentano di pervenire a risultati rappresentativi dell'effettivo andamento del «fenomeno» (o della caratteristica del materiale) sotto controllo.
- Determinazione e attestazione della qualità di uno strumento di misura. La taratura: procedure e metodi.
- Definizione delle migliori condizioni di impiego dello specifico strumento di misura: analisi delle grandezze che possono influenzare il risultato della misura, prevenzione degli errori sistematici.
- Analisi ed elaborazione dei risultati.

Norme e leggi sul controllo dei materiali

- aspetti generali su enti di normazione, struttura ed organizzazione delle norme, applicazione delle norme;
- analisi esemplificativa, sotto il profilo normativo, di alcune categorie di materiali per l'ingegneria e di effluenti inquinanti;
- gestione e certificazione della qualità aziendale;
- valutazioni di impatto ambientale.

Il controllo dei materiali

- Metodi di controllo e misura delle caratteristiche dei materiali.

Testi consigliati:

G. MINELLI, *Misure meccaniche*, Ed. Patron, Bologna, 1974.

A. BRAY, V. VICENTINI, *Meccanica sperimentale*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1975.

Publicazioni specifiche e dispense distribuite dal docente.

M. SAVINO, *Fondamenti di scienza delle misure*, ed. NIS, Roma, 1992.

Esame

L'esame consta di una prova orale.

Il Corso fornisce i principi fondamentali della progettazione di miniere, cave e scavi e le notizie sulle più recenti acquisizioni tecnico-scientifiche utili per la soluzione dei problemi

tipici dell'ingegneria degli scavi e delle miniere. La progettazione viene esaminata mettendo in luce le interconnessioni tra le competenze ingegneristiche e quelle economico-finanziarie-legislative con particolare attenzione verso gli aspetti ambientali coinvolti dalle operazioni minerarie e di scavo. Inoltre il Corso mette in evidenza le applicazioni delle tecniche minerarie, negli scavi in roccia ed in terreni sciolti per grandi opere civili (gallerie, centrali in caverne, sbancamenti, ecc.).

Programma

— *L'approvvigionamento.* Il mercato mondiale delle materie prime minerali, fabbisogni e prospettive. Ricerca e sviluppo nella tecnica mineraria. Tendenze evolutive nella prospezione e coltivazione dei giacimenti. Fattori di rischio nell'approvvigionamento di materie prime minerali strategiche. Parametri che influenzano il progetto ed analisi dei costi. Tendenze attuali nelle scelte tecnico-economiche tra coltivazioni a cielo aperto ed in sotterraneo.

— *La coltivazione delle miniere e delle cave.* Cenni sulla prospezione geologica, geofisica, geochimica e sui lavori di esplorazione. Criteri generali e fattori determinanti l'organizzazione di una coltivazione. Le riserve e la campionatura. Richiami sui criteri geostatistici e sulla pianificazione dell'attività estrattiva. La valutazione delle miniere. Le grandi preparazioni ed i tracciamenti per la preparazione del cantiere. I principali metodi di coltivazione di minerali metalliferi non metalliferi ed energetici. Coltivazioni a giorno: il progetto di coltivazione; metodi ed organizzazione. Criteri per la determinazione della coltivabilità a giorno o in sotterraneo; parametri che impongono il passaggio dal sistema «a giorno» al sistema «in sotterraneo». Coltivazioni di materiali di seconda categoria: cave per pietre ornamentali e per la produzione di blocchi, di granulati. Influenza dei problemi di stabilità nella scelta del metodo di coltivazione, sulle 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 e cave dismesse: scelte tecniche ed economiche.

— *La tecnica 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. Scavo di gallerie a grande sezione. Metodi di scavo in rocce e terreni sotto falda. Sismicità indotta dalle volate e problemi di sicurezza. Ventilazione di gallerie a fondo cieco.

Esercitazioni ed esami

Le esercitazioni consistono nell'analisi pratica e numerica dei temi sviluppati a lezione e nello sviluppo completo di un progetto individuale di coltivazione di cava o di miniera o di scavi in genere (gallerie, sbancamenti, ecc.), curato da ciascuno studente. 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 del progetto sviluppato individualmente.

Tesi di laurea: Sono prevalentemente a carattere applicativo.

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*.

Propedeuticità consigliate: Scienza delle Costruzioni, Fisica Tecnica, Geologia, Giacimenti minerari, Meccanica delle rocce.

11702

CAVE E RECUPERO AMBIENTALE

Docente: **Paolo Berry** prof. ord. (inc.)

Problematiche generali. Cave per estrazione di minerali di seconda categoria ed escavazioni a giorno per l'ingegneria civile. Occupazione del suolo competizione con attività economiche concorrenti. Utilizzazione delle pietre ornamentali. Pianificazione dell'attività estrattiva. Studio dell'impatto ambientale: misure preventive e misure protettive.

I materiali oggetto dell'attività di cava. Individuazione delle formazioni utili. Utilizzazione dei metodi geofisici, trincee, sondaggi. Diagrafie. I giacimenti di rocce ornamentali. Rocce e terre. Pietre ornamentali. Caratterizzazione fisica, chimica, meccanica, tecnologica e merceologica. Normazione della qualità dei materiali. Macchine, strumenti di saggio e procedure. Fattori che condizionano l'attività di scavo. Parametri geomeccanici e strutturali.

Classificazione e definizione delle cave per inerti, per blocchi e per pietre ornamentali. Progetto di coltivazione; 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 e sfridi di lavorazione.

Tecnologie di abbattimento. Abbattimento con esplosivo. 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 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. Coltivazione di formazioni sotto falda. Draghe meccaniche ed idrauliche. Benne raschianti e sospese.

Tecnologie di taglio. Cave. Impianti a filo diamantato. Taglio con segatrice a catena dentata o cinghia diamantata. Taglio con dischi. Produttività e costi unitari. Taglio al monte con miccia detonante o polvere nera. Disgregazione termica delle rocce dure. Prospettive di applicazione di tecnologie innovative. Fondamenti sperimentali e risultati industriali.

Lavori speciali. Scavi di profilatura in roccia; scavi per fondazioni, consolidamenti; movimenti di terra per sistemazione di scarpate; bacini di contenimento degli sterili.

Attività di trasformazione. Movimentazione dei blocchi. Segazione, calibratura, finitura superficiale e taglio a misura delle rocce ornamentali. Telai a filo; telai monolama; dischi ortogonali; telai multilama a graniglia barasiva. Operazioni di lucidatura, sfiammatura e bocciardatura. Lavorazioni speciali. Criteri di scelta e problemi gestionali.

Esercitazioni ed esami

Le esercitazioni consistono nell'analisi pratica e numerica dei temi sviluppati a lezione e nello sviluppo completo di un progetto individuale di coltivazione di cava o di scavi in genere (gallerie, sbancamenti, ecc.), curato da ciascuno studente. L'esame consiste in un colloquio nel quale viene valutata la preparazione dello studente anche attraverso la presentazione del progetto sviluppato individualmente.

Tesi di laurea: Sono prevalentemente a carattere applicativo.

Testo consigliato:

AUTORI VARI, *Articoli tecnici e scientifici forniti dal Docente.*

11703

CHIMICA APPLICATA (sem.) (Ing. per l'Ambiente e il Territorio)

Docente: **Giorgio Timellini** prof. ass.

Finalità del Corso

Fornire agli allievi una conoscenza di base delle principali classi di materiali, correlandone in particolare le caratteristiche ed i processi di fabbricazione con natura, composizione e proprietà delle materie prime, ed analizzando i principali problemi di impatto ambientale, connessi con la loro fabbricazione ed utilizzazione.

Programma

I materiali

Classificazione dei materiali. Proprietà generali. Microstruttura e proprietà fisico-

meccaniche. Richiami sui diagrammi di stato. Le materie prime ed i processi di fabbricazione. I materiali e l'energia.

L'ambiente

Il sistema ambiente e l'inquinamento ambientale. Le sorgenti inquinanti ed il processo di inquinamento ambientale. Inquinamento atmosferico, inquinamento dell'ambiente di lavoro, inquinamento idrico, fanghi e residui solidi. Generalità sugli interventi contro l'inquinamento ambientale. Caratterizzazione e misura dell'inquinamento ambientale.

I prodotti ceramici

Generalità sulle materie prime ceramiche: argille, quarzo, feldspati, carbonati, etc. Caratterizzazione chimico-fisica ed attitudinale delle materie prime ceramiche. I ceramici per l'edilizia, per uso domestico, per l'industria (refrattari); i leganti; il vetro: materie prime, ciclo di fabbricazione, proprietà.

I materiali ceramici e l'ambiente: inquinamento ambientale da processi di fabbricazione ceramica. I residui solidi ed il loro smaltimento/recupero. Problemi ambientali connessi con l'impiego dei materiali ceramici.

I metalli

Generalità sullo stato metallico e sulle proprietà dei metalli. Le materie prime ed i processi metallurgici. Ferro e sue leghe.

I metalli e l'ambiente: inquinamento ambientale da processi metallurgici.

La combustione ed i combustibili

I combustibili fossili nel quadro generale della produzione di energia. Chimica-fisica della combustione.

Il petrolio. Cenni su natura e origine del petrolio. Classificazione e caratterizzazione chimico-fisica ed attitudinale dei grezzi. Processi di lavorazione del petrolio. I derivati del petrolio: metano e combustibili gassosi, GPL, benzine, gasolio, olio combustibili, oli e grassi lubrificanti, paraffina, bitumi, coke di petrolio.

I combustibili e l'ambiente: inquinamento ambientale dai processi di produzione dei combustibili. Inquinamento ambientale dai processi di combustione.

Gli esplosivi

Classificazione, caratteristiche, utilizzazione e campi di impiego.

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.

Testi consigliati:

V. GOTTARDI, *Appunti dalle lezioni di Tecnologia dei materiali e chimica applicata*, Volumi su: Ceramiche, Leganti, Metalli, Combustibili, Ed. Patron, Padova, 1977.

L. BRUZZI, *Prevenzione e controllo dell'impatto ambientale*, Ed. CLUEB, Bologna, 1995.

Copia dei lucidi utilizzati dal docente.
 Pubblicazioni specifiche distribuite dal docente.

Esami

L'esame consta di una prova orale.

2084

DIRITTO MINERARIO (sem.)

Docente: **Dario Bortolotti** ricerc. (inc.)

Programma

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: l. 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 «legge antimog» (1966) al D.P.R. 24 maggio 1988 n. 203, attuativo di direttive comunitarie per il controllo delle emissioni inquinanti.

La disciplina amministrativa prevista per i nuovi impianti e quella di «censimento» degli impianti esistenti.

L'autorizzazione all'esercizio di centrali termoelettriche.

Le fattispecie penali introdotte dal DPR 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 «migliore tecnologia disponibile» (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)», 1991, Collana «Energia ed Ambiente, Maggioli ed., Rimini).
- 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.

7943

ELEMENTI DI ECOLOGIA

Docente: **Mario Grasso** prof. ord. (inc.)

Programma

- 1) Il problema dell'origine della vita sulla terra.
- 2) La composizione chimica della materia vivente: costituenti organici ed inorganici.
- 3) I livelli fondamentali dell'organizzazione dei viventi: i Virus, i Procarioti e gli Eucarioti; loro ultrastruttura, organizzazione e riproduzione.
- 4) La sintesi proteica, il codice genetico e il ciclo della cellula eucariote.
- 5) Lineamenti di genetica elementare: le leggi di Mendel e le loro più comuni eccezioni; concetto di gene e di mutazione. Cenni sullo sviluppo embrionale.
- 6) La dottrina dell'evoluzione biologica: da Lamarck a Darwin e il Neo-Darwinismo mutazionista; concetto di specie e di popolazione; la micro e macro-evoluzione.
- 7) Cenni sui criteri di classificazione degli esseri viventi.
- 8) Il concetto sistemico dell'ambiente: ambiente fisico e comunità; ambiente fisico:

terrestre ed acquatico. I produttori, i consumatori e i decompositori.

9) L'ecosistema: definizione, struttura, funzioni, controlli; energia degli ecosistemi e loro classificazione.

10) Produttività e produzione: catene, reti alimentari, livelli trofici, piramidi ecologiche e flussi energetici.

11) Le comunità ecologiche: loro descrizione statica e dinamica; le successioni ecologiche: stadio di climax.

12) I cicli biogeochimici: il ciclo dell'azoto, del CO₂ del CO e del CH₄, del fosforo, dello zolfo e dell'acqua. Concetto di piogge acide ed effetto serra.

13) I rapporti tra gli organismi viventi: le interazioni positive e negative.

14) Analisi di ecosistemi: l'ambiente marino, d'acqua dolce e terrestre; concetto di Bioma ed Ecotono. Notizie sulla teoria della deriva dei continenti.

15) Degradazione ambientale: generalità su alcuni inquinanti degli ecosistemi acquatici e terrestri, eutrofizzazione, inquinamento termico, da idrocarburi e nucleare.

16) Il controllo biologico delle acque: bioindicatori e indici biologici.

Testi consigliati:

ODUM, *Basi di Ecologia*, Ed. Piccin, Padova.

GRASSO, *Lezioni di Biologia Generale*, Ed. Milella, Lecce.

279

ELETTROTECNICA II (sem.) (Ambiente e Territorio)

Docente: **Fiorenzo Filippetti** prof. ass.

Finalità del corso

Il corso si propone di fornire agli allievi ingegneri un approfondimento delle problematiche relative alle applicazioni dell'Elettrotecnica in campo impiantistico ed industriale.

Con particolare attenzione verranno esaminati gli aspetti connessi alla valutazione di impatto ambientale (VIA), nell'ambito delle recentissime normative legate alle direttive CEE.

Programma

Fonti energetiche. Centrali di produzione, vari tipi di impianto: idroelettrici, termoelettrici e nucleari.

Problemi ambientali legati alla produzione di energia elettrica. Interventi primari e secondari, normative di legge e limiti di attuazione. Generatori sincroni e trasformatori.

Linee elettriche: equazioni e costanti caratteristiche, linee aeree e linee in cavo, circuiti equivalenti.

Elementi costruttivi delle linee e cenni sul progetto elettrico e meccanico. Valutazione di impatto ambientale nelle linee elettriche. Ricerca del tracciato con approccio globale nel rispetto dei vari tipi di vincolo. Limiti del campo elettrico e magnetico e zone di rispetto in prossimità delle linee.

Motori asincroni e motori a corrente continua. Problemi di avviamento e campi di applicazione.

Conversione statica dell'energia elettrica: raddrizzatore, inverter e chopper. Cenni sugli azionamenti dei motori asincroni e dei motori a corrente continua. Applicazioni nel settore industriale e del trasporto. Veicoli elettrici e principali schemi costruttivi.

Propedeuticità:

È indispensabile avere superato l'esame di Fisica II ed avere frequentato le lezioni del corso generale di Elettrotecnica.

Testi consigliati:

Appunti informali del docente.

F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, Pitagora, Bologna.

R. MIGLIO, C. TASSONI, *Trasformatori monofasi trifasi e speciali*, Patron, Bologna.

F. ILICETO, *Lezioni di Elettrotecnica vol. III impianti*, La Goliardica, Roma.

FITZGERALD, KINGLSEY, KUSKO, *Macchine elettriche*, Franco Angeli, Milano.

430

FISICA TECNICA (sem.) (Ambiente e Territorio)

Docente: **Alessandro Cocchi** prof. ord. (inc.)

Programma

Termodinamica generale e applicata

Richiami di termodinamica - Classificazione e descrizione dei sistemi. Proprietà e coordinate termodinamiche. Misure di temperatura. Le equazioni del bilancio energetico per i sistemi chiusi e per i sistemi aperti. Significato ingegneristico dell'entropia.

Sistemi chimicamente omogenei e diagrammi termodinamici - Proprietà termodinamiche dello stato liquido. Proprietà termodinamiche del vapore saturo umido. Gas ideale e gas perfetti (proprietà termodinamiche e studio delle trasformazioni). Gas reali (legge degli stati corrispondenti, fattore di compressibilità). Trasformazioni tipiche su: superficie (p, v, t), diagramma di Clapeyron (p,v), diagramma entropico (T,s), diagramma entalpico o di Mollier (h,s), diagramma pressione-entalpia (ln p,h).

Sistemi a più componenti non reagenti in fase gassosa - Miscele di gas perfetti. Misce-

le di gas reali. Miscele di gas e vapori. Miscele di aria e vapor d'acqua. Diagrammi di Mollier e psicrometrico. Trasformazioni psicrometriche elementari. Misura del grado igrometrico.

Cicli termodinamici - Cicli politropici (Otto, Diesel, Stirling, Ericsson). Ciclo di Rankine. Ciclo frigorifero e sua utilizzazione anche come pompa di calore. Il tubo di calore. Ciclo frigorifero ad assorbimento. La termopompa.

Termocinetica

Fenomeni di trasporto - Generalità. Meccanismi elementari. Leggi di Newton, di Fourier, di Fick. Turbolenza. Analogie.

La conduzione - L'equazione di Fourier. Conduzione in regime stazionario. Conduzione in regime variabile. Analogia elettrica. Proprietà termofisiche. Inerzia termica: sfasamento e ritardo.

La convezione - Generalità. Moto di un fluido non isoterma. Teoria della similitudine. Numeri puri. Strato limite. Regione di ingresso. Casi particolari.

L'irraggiamento - Generalità. Definizioni. Leggi del corpo nero. Scambio tra superfici completamente o parzialmente affacciate.

9730

FONDAMENTI DI INFORMATICA

Docente: **Franca Tesi Rossi** prof. ass.

Il corso 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.

Programma

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.

Il Corso 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.

5724

GEOFISICA APPLICATA

Docente: **Giovanni Santarato**

Generalità sulla posizione dei problemi e sui metodi di indagine della Geofisica Mineraria. Aspetti geologici e aspetti geofisici della ricerca. Metodo gravimetrico. Il campo normale della gravità: pendoli, gravimetri e bilancia di torsione. Riduzione delle misure di gravità: correzione di Faye, di Bouguer e correzione topografica. Ipotesi isostatica. Influenza dei corpi celesti sulla gravità: esecuzione di prospezioni gravimetriche. Calcolo e riduzione dei valori osservati. Interpretazione dei risultati di un rilievo gravimetrico: metodo diretto e metodi indiretti. Metodo magnetometrico: generalità. Proprietà magnetiche delle rocce. Campo magnetico terrestre. Strumenti di misura del campo magnetico: variometri magnetici. Esecuzione di prospezioni geomagnetiche. Riduzione delle misure. Calcoli ed interpretazione dei risultati. Metodi sismici. Generalità. Proprietà elastiche delle rocce. Onde ela-

stiche e loro propagazione. Teoria della sismica a rifrazione: dromocrone. Determinazione delle profondità di più stati sovrapposti. Dromocrome caratteristiche dei principali tipi di formazioni. Esecuzione di prospezioni sismiche: profili continui, profili incrociati, rilievi a ventaglio. Riduzione dei valori osservati ed interpretazione dei risultati. Teoria della sismica e riflessione. Determinazione della velocità. Calcolo della profondità e della inclinazione di uno strato con il metodo a riflessione. Rilievo delle strutture più interessanti dal punto di vista minerario. Apparecchiature sismometriche e loro funzione. Teoria dei sismografi. Apparecchiature per l'amplificazione, il filtraggio e la registrazione. Vari tipi di marca-tempo. Riduzione delle misure ed interpretazione dei risultati. Metodi elettrici. Generalità. Proprietà elettriche delle rocce. Classificazione dei metodi elettrici. Metodo dei potenziali spontanei; considerazioni teoriche. Elettrodi impolarizzabili. Apparecchiature per l'esecuzione delle misure. Interpretazione dei risultati. Prospezioni geoelettriche con il metodo della resistività apparente. Studio di due terreni di resistività diversa sovrapposti. Metodo di Hummel. Curve di Tagg. Teoria di S. Stefanescu. Studio di tre terreni. Metodo di calcolo di Flathe. Corrispondenza tra il metodo di Hummel e quello di Stefanescu. Esecuzione delle misure ed interpretazione dei risultati. Carotaggio elettrico. Carotaggio radioattivo: cenno.

Testi consigliati:

Dispense del corso (in distribuzione presso l'Istituto).

C. MORELLI, *Geofisica applicata*, Trieste, 1967.

G. FULCHERIS, *Corso di Geofisica mineraria*, voll. I e II, Levrotto e Bella, Torino, 1969.

DOBRIN, *Introduction to Geophysical Prospecting*, McGraw-Hill, 1975.

464

GEOLOGIA (ind.: 2. Difesa del suolo, 3. Georisorse, 4. Geotecnologie)

Docente: **Carlo Elmi** prof. ass.

Finalità del corso:

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 «rappresentazioni» 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 magmatico 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. Macmillan Pub. Co. (in inglese).

PRESS F., SIEVER R., *Introduzione alle Scienze della Terra*, Zanichelli ed.

AA.VV., *Enciclopedia Cambridge. Scienze della Terra*, Editori Laterza.

PIERI M., *Petrolio*, Zanichelli ed.

Dispense integrative fornite dal docente.

465

GEOLOGIA APPLICATA (ind.: 1. Ambiente, 5. Pianificazione e Gestione territoriale)

Docente: **Giulio Cesare Carloni** prof. ord.

Finalità

Il corso è espressamente finalizzato a fornire un'ampia consocenza 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.

Il corso fornisce le nozioni propedeutiche di litologia geologia e rilevamento geologico-tecnico per la risoluzione dei problemi geologici che di volta in volta si presentano nei 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 geotematiche. 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 geoapplicativi legati alla definizione dell'idoneità di siti per discariche controllate.

Problemi geologico-tecnici nella progettazione di strutture viarie e grandi infrastrutture che possono alterare l'ambiente. Problemi geologico-tecnici nella progettazione degli invari artificiali, 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 sottosuolo; interazione con le acque di falda. Utilizzo del sottosuolo come alternativa alle realizzazioni in superficie e problematiche relative. Geologia delle 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 del corso.

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 «La Scienza» ed. Mondadori.

D.E. ALEXANDER, *Calamità naturali*, ed. Pitagora.

G. GISOTTI e S. BRUSCHI, *Valutare l'ambiente*, La Nuova Italia Scientifica.

482

GIACIMENTI MINERARI

Docente: **Roberto Bruno** prof. ass.

Finalità del corso:

Il corso 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

Il corso 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 del corso viene incentrata sia sulla Giacimentologia classica (La classificazione dei giacimenti minerali. Le Province 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 del corso viene sviluppata la caratterizzazione tecnico-economica di un giacimento e la teoria relativa alle Risorse «in situ» ed alle Riserve recuperabili.

Il corso, 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*, Chapman & All, London, 1986.

PARK C.F. and MACDIARMAC R.A., Ed. B. De Vivo e F. Ippolito, *Giacimenti Minerari*, 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

JOURNEL A.G. and HUIJBREGHTS 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.

4135

IDROGEOLOGIA APPLICATA

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.

516

IMPIANTI MINERARI

Docente: **Sante Fabbri** prof. ass.

Finalità del corso

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 il corso prende in esame i servizi e l'impatto ambientale legato agli impianti.

Programma

— *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. Traspor'ti discontinui a cielo aperto: macchine per l'abbattimento 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. Apparecchiature di interruzione per alta e bassa tensione. 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.

— *Impatto ambientale*. Criteri e tecniche di valutazione di impatto ambientale connesso agli impianti ed all'impiego delle macchine (polveri, rumore, ecc.). Solubrità e protezione contro gli infortuni negli ambienti di lavoro in miniera, in cava e nelle opere di sbancamento. Criteri tecnico-economici per la scelta degli impianti a minor impatto e considerazioni sugli spazi funzionali legati a problemi di sicurezza.

Le *esercitazioni* forniscono i principali elementi di calcolo e di dimensionamento degli impianti illustrati nel corso.

Tesi di laurea: prevalentemente a carattere applicativo.

Testi consigliati:

S.C. WALKER, *Mine Winding and Transport*, Elsevier.

AUTORI VARI, *Articoli tecnici e scientifici forniti dal Docente*.

Dispense redatte dal docente.

Propedeuticità consigliata: Arte Mineraria.

12090

INGEGNERIA DEGLI SCAVI

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. Indagini preliminari alla scelta del metodo di scavo, alla scelta della tecnica e 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 il N.A.T.M. Scavo con le frese scudate. Scavo con le frese puntuali. Scavo con le 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 da 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.

Impatto ambientale.

11138

INGEGNERIA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI

Docente: **Gian Luigi Chierici** prof. ord. (Ambiente) (Civili)

Scopo del corso 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 il corso 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 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. Evoluzione nel tempo del regime di flusso.

— L'interpretazione delle prove di produzione nei pozzi ad olio: il problema della non-unicità. Calcolo delle $p^D(t_D)$ per 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 Schiltois 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 «chiusi», 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 della viscosità. Spiazzamento immiscibile in sistemi bidimensionali: nozioni di «vertical equilibrium» 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.

Testi consigliati:

G.L. CHERICI, *Principi di ingegneria dei giacimenti petroliferi*, Vol. 1, Agip S.p.A. Editore (settembre 1989) - Tutto il volume, tranne il Capitolo 8.

G.L. CHERICI, *Principi di ingegneria dei giacimenti petroliferi*, Vol. 2, Agip S.p.A. Editore (febbraio 1990) - Solo i Capitoli 10, 11 e 12.

I due volumi vengono forniti *gratuitamente* agli studenti del corso dalla Agip S.p.A.

Il corso consiste in lezioni ed esercitazioni di calcolo.

Propedeuticità consigliate: È opportuno avere già seguito i corsi di Geologia, Fisica tecnica ed Idraulica.

Gli *esami* sono orali.

Le *tesi di laurea* hanno indirizzo pratico, con ricorso a programmi di calcolo automatico, e possono venire parzialmente svolte in collaborazione con Agip S.p.A.

11139

INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALEDocente: **Gianni Luigi Bragadin** prof. ord.1) *Generalità*

L'Ingegneria Sanitaria Ambientale. La difesa dall'inquinamento. I settori di intervento: acqua, aria, suolo.

2) *Acqua**Acque naturali*

Il ciclo dell'acqua naturale. Caratteristiche delle acque naturali. Utilizzo potabile, agricolo, industriale. Requisiti e legislazione.

Acque artificiali o condotte

Il ciclo delle acque condotte. Acquedotti: vari prelievi, trattamenti, qualità richiesta. Stoccaggio e distribuzione. Utilizzazione delle acque potabili.

Acque di rifiuto di origine domestica

Collettamento e convogliamento.

Le fognature: nere e miste.

Calcolo sezioni tipo condotte pozzetti pendenze allacciamenti.

L'impianto di trattamento

a) preliminari: calcolo portate; calcolo dei carichi in arrivo; variazioni giornalieri annuali; le acque da fogna mista

b) *I primario*

gli sfioratori; le griglie; il sollevamento; olio e sabbia; decantatore.

II secondario

il reattore biologico, le equazioni; decantatore, calcolo ricircolo.

III terziario

denitrificazione; defosfatazione.

Clorazione: le caratteristiche delle acque in uscita; la legge Merli.

La linea fango: recupero energetico; deidratazione e smaltimento fanghi.

Le *acque di scarico* di origine industriale e agroindustriale.

Le *acque grigie*: Il dilavaggio urbano; Le acque da zone agricole e incolte.

I corpi ricettori: Trasporto e diffusione di inquinanti in ecosistemi acquatici. Le equazioni idrauliche. L'equazione generale diffusione avvezione. Bilancio BOD-DO, Bilancio di Azoto e Fosforo. Lagune biologiche ed ecosistemi filtro.

Fiumi e torrenti. Bacini a debole ricambio. Laghi.

Mare: Le condotte sottomarine. I moti delle grandi masse: moto geostrofico. Brezze e correnti di riva. L'Adriatico.

Rifiuti solidi

Classificazione. Raccolta e trasporto. Trattamento: incenerimento, compostaggio. Stoccaggio: discarica controllata.

Inquinamento atmosferico

Caratteristiche dell'atmosfera. Statica e dinamica. Meteorologia. Inquinamento atmosferico. Meteorologia dell'inquinamento: stratificazione e dispersione.

fonti di inquinamento. I grandi camini. Dispersione degli inquinanti modelli. Trattamento delle emissioni.

Le fonti distribuite: il riscaldamento domestico; il traffico; il motore otto; il diesel.

Fabbisogni energetici

Totali, elettrici, combustibile per riscaldamento, per autotrazione.

Industriali.

Le fonti di energia: in passato attuali future.

Testi consigliati:

METCAL & EDDY, *Wastewater engineering treatment disposal reuse*, Mc Graw-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: Il corso prevede una serie di esercitazioni, visite tecniche e conferenze sugli argomenti del programma.

11168

INTERAZIONE FRA LE MACCHINE E L'AMBIENTE

Docente: **Agostino Gambarotta** prof. ass. (inc.)

Finalità del corso

Obiettivo del corso 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.

Programma

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_2 , CO, NO_x , SO_x , particolato), meccanismi di formazione e conseguenze sull'ambiente. Problematiche connesse con la riduzione delle emissioni di CO_2 : 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 combusti.

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 consigliati:

R. VISMARA, *Ecologia Applicata*, Hoepli, 1992.

M.L. DAVS, D.A. CORNWELL, *Introduction to Environmental Engineering*, McGraw-Hill, 1991.

M. DELANETTE, *Les automobiles et la pollution: techniques anti-pollution*, E.T.A.I., 1989.

P.A. VESILIND, J.J. PEIRCE, R. WEINER, *Environmental Engineering*, Butterworth Publishers, 1988.

J.H. HORLOCK, *Cogeneration-Combined Heat and Power (CHP)*, Pergamon Press, 1987.

A.H. LEFEBVRE, *Gas Turbine combustion*, McGraw-Hill, 1983.

R. WILSON, W.J. JONES, *Energia, Ecologia ed Ambiente*, Casa Editrice Ambrosiana, 1978.

I. GLASSMAN, *Combustion*, Academic Press, 1977.

10385

LOCALIZZAZIONE DEI SISTEMI ENERGETICI (sem.) (Ambiente, Nucleari)Docente: **Carlo Maria Orlandelli** prof. ass.

Il corso si prefigge lo scopo di fornire gli strumenti e le metodologie utilizzate per effettuare un corretto inserimento nel territorio di sistemi per la produzione di energia. In particolare, dato il loro maggiore impatto, si analizzano i grossi impianti per la produzione di energia elettrica; prendendone in esame tutte le principali tipologie (centrali a carbone, ad olio combustibile, a gas, idroelettriche e nucleari). In questo ambito si prenderanno in considerazione, sulla base della attuale normativa, sia il normale funzionamento sia le emergenze, riferendosi in particolare ad impianti realizzati in Italia.

Programma

1. *Introduzione generale*: criteri per la determinazione degli «eventi di riferimento»; pianificazione del territorio e siting industriale; criteri generali per ridurre «l'area di rischio».

2. *Rilasci di effluenti gassosi*: valutazione dei parametri climatici, fisici e costruttivi che determinano le modalità di rilascio di effluenti gassosi; modalità di dispersione in atmosfera e di deposizione al suolo e relativi modelli analitici; valutazione dei processi di contaminazione dell'atmosfera in funzione della turbolenza, dell'orografia e della distanza dal punto di rilascio; modelli di Pasquill-Gifford, delle fluttuazioni dei parametri anemometrici, Split-sigma, misto.

3. *Terremoti ed analisi sismica*: scale di magnitudo per la valutazione dell'attività sismica; individuazione dell'evento di riferimento nelle diverse possibili situazioni; soluzioni ingegneristiche legate alle problematiche di localizzazione: classi sismiche, valutazione dei limiti delle tensioni e delle deformazioni accettabili, analisi delle diverse tipologie di componenti un impianto, test sismici e qualificazione dei componenti.

4. *Localizzazione rispetto alla distribuzione della popolazione sul territorio*: metodi di valutazione e comparazione tra di essi; valutazione dell'impatto radiologico.

5. *Valutazione degli incidenti legati all'attività umana*: caduta di aereomobili; esplosioni; rilascio di fluidi pericolosi.

6. *Problematiche di localizzazione sul territorio nazionale*: studi generali condotti da enti (ENEL; ENEA; CNR; ISTAT etc.); centrali a ciclo combinato, centrali termoelettriche, centrali idroelettriche.

Testi consigliati

Per l'elenco dei testi rivolgersi all'Istituto di fisica tecnica.

11169

MACCHINE

Corso integrato con «Meccanica Applicata alle Macchine»

Docente: **Agostino Gambarotta** prof. ass.*Finalità del corso*

Il Corso integrato di «Macchine + Meccanica applicata alle Macchine» si propone di fornire i concetti di base per lo studio delle macchine e dei problemi connessi con il loro impiego.

In particolare nel modulo di «Macchine» vengono esaminati i principi di funzionamento e le caratteristiche operative dei sistemi energetici e delle macchine più diffusamente utilizzati per la produzione e la conversione dell'energia, con cenni ad alcuni aspetti relativi all'impatto ambientale ed alle emissioni inquinanti.

*Programma**1. Energetica*

1.1. Il fabbisogno di energia nella società umana. Fonti energetiche tradizionali ed integrative.

1.2. Sistemi energetici termici ed idraulici. Caratteristiche operative e cenni alle problematiche di impatto ambientale.

2. I Sistemi Energetici

2.1. Generalità: macchine a fluido e sistemi energetici. Classificazione e caratteristiche generali delle macchine a fluido.

2.2. Conversione dell'energia nei sistemi energetici motori. Conversione dell'energia chimica in energia termica: processi di combustione ed emissioni inquinanti. Conversione dell'energia termica in energia meccanica: cicli termodinamici e rendimenti.

2.3. Sistemi energetici motori a vapore. cicli termodinamici a vapore d'acqua. Generatori di vapore: caratteristiche costruttive. condensatori: caratteristiche costruttive, dimensionamento di massima. Rigenerazione e surriscaldamento.

2.4. Sistemi energetici motori con turbine a gas. Cicli termodinamici. Metodi per aumentare il rendimento del ciclo. Camere di combustione e combustibili.

2.5. Sistemi energetici combinati. I sistemi combinati gas-vapore: schemi impiantistici e rendimenti. Sistemi energetici per cogenerazione.

2.6. Cicli e circuiti frigoriferi. Principali schemi di impianto e componenti. Impiego dei Clorofluorocarburi e relativo impatto ambientale.

3. Macchine a fluido

3.1. Turbomacchine. Richiami di fluidodinamica. Turbomacchine motrici a vapore ed a gas: trasformazioni termodinamiche, stadi ad azione ed a reazione, caratteristiche costruttive. Turbomacchine idrauliche. Turbomacchine operatrici: palettature delle macchine assiali e radiali.

3.2. Motori a combustione interna alternativi. Principali caratteristiche e tipologia dei

MCI. Cicli termodinamici e funzionamento reale. Sovralimentazione. Caratteristiche funzionali dei MCI. Combustione e parametri operativi che la influenzano.

3.3. Macchine operatrici volumetriche. Compressori e pompe alternative e rotative.

Propedeuticità: Meccanica Razionale, Fisica Tecnica.

L'esame è costituito da una prova orale.

Testi consigliati:

- G. MORANDI, *Macchine ed apparecchiature a vapore e frigorifere*, Ed. Pitagora, Bologna.
 G. MINELLI, *Macchine idrauliche*, Ed. Pitagora, Bologna.
 G. MINELLI, *Motori endotermici alternativi*, Ed. Pitagora, Bologna.
 G. MINELLI, *Turbine a gas*, Ed. Pitagora, Bologna.
 G. NEGRI DI MONTENEGRO, D. MORO, G. NALDI, *Sistemi e componenti termici*, Corso di Macchine, vol. 1, Ed. Pitagora, Bologna.
 O. ACTON, C. CAPUTO, *Introduzione allo studio delle Macchine*, Macchine a fluido, vol. 1, UTET, Torino.
 O. ACTON, C. CAPUTO, *Impianti motori*, Macchine a fluido, vol. 2, UTET, Torino.
 O. ACTON, *Turbomacchine*, Macchine a fluido, vol. 4, UTET, Torino.

11169

MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE

Corso integrato di «Meccanica applicata alle macchine + Macchine»

Docente: **Giorgio Dalpiaz** prof. ass. (inc.)

Il corso integrato di Meccanica applicata alle macchine + Macchine si propone di fornire i concetti di base per lo studio delle macchine e dei problemi connessi con il loro impiego.

In particolare, il modulo di Meccanica applicata alle macchine tratta i problemi generali relativi al funzionamento delle macchine e dei loro componenti, alla trasmissione di potenza, alla dinamica delle macchine e alle vibrazioni meccaniche, fornendo le basi per la comprensione dei problemi e delle metodologie con cui essi vengono affrontati.

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. Impuntamento. Coppia rotoidale. Coppia elicoidale e viti di serraggio. Distribuzione della pressione di contatto. Coppia rotoidale portante e coppia rotoidale di spinta. b) Attrito di rotolamento. Trasporto con rulli. ruote. Equilibrio di un veicolo. Accelerazione

massima; c) Usura e sue leggi. d) Lubrificazione idrodinamica. Equazione di Reynolds. Meato limitato da pareti piane. Applicazioni tecniche. Coppia rotoidale lubrificata.

3. *Problemi e metodi della Teoria dei meccanismi.* a) Analisi cinematica e cinetostatica dei sistemi articolati piani. Quadrilatero manovella-bilanciere. b) Giunto di Cardano. c) Ruote dentate. Definizioni fondamentali. Caratteristiche funzionali delle ruote dentate. Ruote a denti elicoidali. Ruote coniche. Rotismi ordinari ed epicicloidali. Calcolo cinematico dei rotismi. Rapporto fra i momenti. Differenziale per autoveicoli. d) Organi flessibili. Trasmissioni a cinghie. Macchine di sollevamento.

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) Misura delle vibrazioni. Severità di vibrazione delle macchine. Manutenzione, monitoraggio e diagnostica industriale. f) Dinamica dei rotori. Squilibrio statico e squilibrio dinamico. Bilanciamento. Velocità critiche.

Esercitazioni: Nelle esercitazioni vengono trattate alcune applicazioni, in particolare: Verifica di un freno a ceppi; Tipologia e scelta dei cuscinetti a rotolamento; Calcolo di una cinghia di trasmissione; Assi ed alberi.

Testo consigliato:

E. FUNAIOLI, A. MAGGIORE, U. MENEGHETTI, *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine*, Pàtron, Bologna, Voll. 1 e 2.

Propedeuticità: Meccanica razionale, Fisica tecnica.

L'*esame* è costituito da una prova orale.

7947

MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO (semestrale)

Docente: **Giovanni Brighenti** prof. ord. (inc.)

Il corso è articolato in tre parti. Nella prima vengono fornite le nozioni di base per lo studio unitario del moto dei fluidi nel sottosuolo.

La seconda è dedicata allo studio degli acquiferi e della loro gestione razionale.

La terza parte introduce allo studio dei fluidi geotermici (ad alta e a bassa entalpia) e delle acque termominerali.

Programma

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 polifasico di fluidi immiscibili.

- 2 - Trasporto di sostanze solubili.
- 3 - Moto nelle rocce 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.
- 5 - Elementi di meccanica dei serbatoi geotermici.
- 6 - Utilizzo dei fluidi geotermici ad alta e a bassa entalpia.
- 7 - Le acque termominerali: captazione e utilizzo.

Esami orali.

Propedeuticità consigliata: Idraulica.

Testi di Laurea: teoriche, sperimentali, di calcolo.

4114

MECCANICA DELLE ROCCE

Docente: **Amos Paretini** prof. ass.

Finalità del corso:

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.

Programma

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 scala - 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 elastico non 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 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.

5. La determinazione in laboratorio delle caratteristiche di resistenza e deformabilità del materiale roccioso - Le prove di compressione monoassiale e triassiale - 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.

8. La misura dello stato di sollecitazione negli ammassi rocciosi: i metodi dei martinetti idraulici piatti, del deformometro circolare, del «doorstopper» e della fratturazione idraulica.

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 non circolari.

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 Mécanique des Roches appliquée aux Ouvrages du Genie Civil*.

E. HOEK, J.W. BRAY, *Rock Slope Engineering*.

A.R. JUMIKIS, *Rock Mechanics*.

Propedeuticità consigliate: Scienza delle costruzioni, Geologia.

L'esame consiste in una prova orale con richiami ad applicazioni pratiche.

Tesi di laurea: indirizzo teorico ed applicativo.

5725

MINERALOGIA E PETROGRAFIA

Docente: **Romano Mezzetti** prof. ass.

Finalità del corso

Illustrare il ruolo ed i limiti della mineralogia e della petrografia nell'ambito delle Scienze della Terra. Fornire i principali elementi di caratterizzazione morfologica, chimica, fisica e strutturale dei minerali e delle loro associazioni naturali (rocce).

Programma

A) *Mineralogia morfologica e diagnostica.* Caratteri morfologici e strutturali dei minerali e principali metodologie di studio. Relazioni fra struttura, composizione chimica e proprietà fisiche dei minerali. Metodologie di riconoscimento delle specie minerali.

B) *Genesi dei minerali.* Processi geochimici che portano alla formazione dei minerali. Aspetti essenziali del polimorfismo e dell'isomorfismo in relazione a specifici ambienti chimico-fisici naturali. Concetto di paragenesi e fattori che condizionano le varie associazioni di minerali. I tre grandi processi genetici dei minerali e delle rocce (eruttivo, sedimentario, metamorfico).

C) *Mineralogia e Petrografia descrittive.* I minerali di interesse industriale e i minerali delle rocce. Caratteri di giacitura, tessitura, struttura e composizione delle rocce eruttive, sedimentarie e metamorfiche. Schemi essenziali di classificazione delle rocce. Associazioni di rocce e schemi evolutivi dei caratteri petrochimici. Province petrografiche.

D) *Aspetti applicativi della Petrografia.* Caratterizzazione delle rocce in funzione delle loro proprietà fisiche e tecniche. Relazioni fra proprietà fisiche e composizione. Problemi di idoneità e caratterizzazione delle rocce utilizzabili come materie prime per specifici prodotti industriali.

Testi consigliati:

- G. GOTTARDI, *I minerali*, Ed. Boringhieri, Torino.
 C. D'AMICO, *Dispense di Petrografia*, Ed. Cooperativa Libreria Universitaria, Bologna.
 A. MOTTANA, R. CRESPI, G. LIBORIO, *Minerali e Rocce*, Ed. Mondadori.
 A. MOTTANA, *Fondamenti di mineralogia geologica*, ed. Zanichelli.
 C. D'AMICO INNOCENTI F.P. SASSI, *Magmatismo e metamorfismo*, Ed. Zanichelli.

Esame orale.

731

MISURE E CONTROLLI NEI GIACIMENTI DI IDROCARBURIDocente: **Ezio Mesini** ricerc. (inc.)*Finalità del corso:*

Fornire agli allievi conoscenze a carattere pratico-applicativo sulle misure che vengono eseguite nei giacimenti petroliferi e gassiferi ai fini della loro coltivazione, in particolare sulla termodinamica e fluodinamica dei fluidi in giacimento e dei sistemi roccia serbatoio/fluidi contenuti, nonché sulle registrazioni elettriche, radioattive e soniche eseguite in pozzo.

Programma

Scopo del corso. Richiami sulle tecniche di previsione del comportamento dei giacimenti di idrocarburi. Situazione attuale dell'ingegneria dei giacimenti. Studio delle rocce serbatoio. Prelievo dei campioni in pozzo, loro trattamento per il trasporto, identificazione dei campioni. Misure di routine di laboratorio; porosità, permeabilità all'aria ed ai liquidi, fattore di resistività di formazione. Analisi speciali su carote: curve di pressione capillare e di permeabilità relativa. Metodologia di determinazione sperimentale ed impiego nelle previsioni di comportamento dei giacimenti.

Registrazioni in pozzo (logs): posizione del problema, cenni alla storia passata, apparecchiature di registrazione di superficie. I carotaggi convenzionali: potenziale spontaneo, misure di resistività con correnti non focalizzate. I carotaggi a correnti focalizzate: latero-log e log induttivo. I microdispositivi. Logs radioattivi: principi del metodo e dettagli sul log di radioattività spontanea, sul neutron log e sul density log. I logs sonici.

Taratura dei logs mediante carote ed interpretazione quantitativa per il calcolo della porosità e della saturazione in acqua.

Comportamento volumetrico e di fase di sistemi di idrocarburi naturali ad alta pressione. Diagrammi di fase dei greggi, dei gas a condensato e dei gas secchi in 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:

G.L. CHERICI, *Comportamento volumetrico e di fase degli idrocarburi nei giacimenti*, Giuffrè Editore, Milano, 1962.

R. DESBRANDES, *Diagraphics dans les sondages*, Ed. Technip, Paris, 1982.

DRESSER ATLAS, *Well logging and interpretation techniques*, Dresser Industries, 1982.

SCHLUMBERGER, *Log interpretation Principles/Applications*, Houston, 1989.

Esame orale, con richiami ad applicazioni pratiche delle materie del corso.

Propedeuticità consigliate: Fisica tecnica, Meccanica dei giacimenti di idrocarburi.

14711

MODELLISTICA E CONTROLLO DEI SISTEMI AMBIENTALI (sem.)

Docente: **Enzo Belardinelli** prof. ord. (inc.)

10402

PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE (per Chimici e Ambiente)

Docente: **Franco P. Foraboschi** prof. ord. (inc.)

Il corso ha per oggetto lo studio del *sistema ambiente* con le metodologie dell'ingegneria chimica e di processo.

Programma**0. Considerazioni introduttive: l'ingegneria chimica ambientale****1. Elementi di analisi dei processi**

1.1. *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

1.2. *Le relazioni di base* 0. Generalità 1. Equazioni di bilancio 2. Stadi di equilibrio 3. Equazioni cinetiche 4. Modelli

2. Il sistema ambiente

2.3. *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

2.4. *L'inquinamento ambientale* 0. Generalità 1. Conseguenze 2. Costi

2.5. *Gli inquinanti ambientali* 1. Tipi 2. Proprietà 3. Parametri caratteristici 4. Determinazione 5. Effetti

2.6. *Le sorgenti inquinanti* 1. Tipi 2. Caratteristiche 3. Monitoraggio 4. Effetti

- 2.7. *Il processo d'inquinamento ambientale* 0. Generalità 1. Concetti elementari di climatologia, meteorologia e idrologia 2. Trasporto e trasformazione degli inquinanti nell'ambiente (fenomeni e modelli) 3. Propagazione di onde di pressione ed elettromagnetiche (fenomeni e modelli) 4. Elementi di ecotossicologia 5. Monitoraggio ambientale
- 2.8. *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
- 2.9. *Cenni sulla tutela giuridica dell'ambiente dall'inquinamento* 1. Le norme di carattere generale 2. La normativa sanitaria 3. La normativa contro l'inquinamento ambientale 4. La normativa per l'igiene e la sicurezza del lavoro 5. La normativa 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. **Le operazioni unitarie dell'ingegneria ambientale chimica**
- 3.1. *Trasporto e deposito di fluidi e solidi* 1. Convogliamento di correnti fluide (reti di ventilazione degli ambienti di lavoro, sistemi di convogliamento degli scarichi di sicurezza, canali di fumo, impianti di fognatura, acquedotti, ecc.) 2. Stoccaggio dei fluidi (gasometri, serbatoi, bacini, ecc.) 3. Movimentazione dei solidi (nastri trasportatori, elevatori, coclee, vibrotrasportatori, trasporto pneumatico, ecc.) 4. Stoccaggio dei solidi (cumuli, sili, tramogge, discariche controllate, ecc.) 5. Trasporto a distanza di fluidi e di solidi
- 3.2. *Miscelazione e agitazione* 1. Sistemi monofasici (p. es. omogeneizzazione di acque di rifiuto) 2. Sistemi polifasici (p. es. dissoluzione o dispersione di reagenti, omogeneizzazione di rifiuti solidi, sospensioni ed emulsioni) 3. Operazioni ausiliarie (macinazione, dosaggio, ecc.)
- 3.3. *Separazione di sistemi polifasici* 1. Separazione delle particelle sospese in un gas (p. es. abbattimento di inquinanti particellari da emissioni gassose) 2. Separazione di particelle sospese in un liquido (p. es. trattamento chimico-fisico e disoleazione di acque di rifiuto) 3. Disidratazione meccanica dei fanghi (p. es. ispessimento dei fanghi di depurazione biologica delle acque di rifiuto) 4. Classificazione dei solidi (p. es. selezione dei rifiuti solidi urbani)
- 3.4. *Trasmissione del calore* 1. Scambiatori di calore sensibile (p. es. recuperi termici in impianti di depurazione di emissioni gassose calde) 2. Condensatori (p. es. abbattimento di vapori inquinanti) 3. Evaporatori (p. es. concentrazione di rifiuti a base liquida) 4. Caldaie (p. es. recupero termico in impianti di incenerimento dei rifiuti)
- 3.5. *Trasporto di materia* 1. Assorbimento (p. es. abbattimento di inquinanti gassosi) 2. *Stripping* (p. es. rimozione d'inquinanti gassosi da fasi liquide) 3. Distillazione (p. es. recupero di solventi da rifiuti liquidi) 4. Deumidificazione (p. es. abbattimento di vapori inquinanti da un'emissione gassosa) 5. Adsorbimento (p. es. depurazione di correnti fluide su carbone attivo) 6. Essiccamento termico (p. es. disidratazione di fanghi di depurazione) 7. Cristallizzazione (p. es. recupero di sali da soluzioni) 8. Estrazione (p. es. lavaggio di fanghi)
- 3.6. *Propagazione di onde di pressione ed elettromagnetiche* 1. Tipologia (rumori; vibrazioni; onde esplosive; microonde; radiazioni termiche, ultraviolette e ionizzanti) 2. Sorgenti (prevenzione degli effetti negativi) 3. Sistemi di protezione

4. Ingegneria delle reazioni chimiche

- 4.1. *I reattori chimici* 1. Tipi (discontinui, continui e semicontinui; omogenei ed eterogenei; miscelati e tubolari; monostadio e a più stadi) 2. Reattori speciali (a letto fluido, a fiamma, fotochimici, ecc.) 3. Resa e selettività
- 4.2. *Le reazioni chimiche* 1. Neutralizzazione (p. es. controllo del pH) 2. Ossido-riduzione (p. es. ossidazione dei cianuri, riduzione del cromo esavalente, ossidazione chimica di inquinanti organici) 3. Precipitazione (p. es. abbattimento di ioni di metalli pesanti o dell'ione solforico) 4. Combustione (p. es. ossidazione termica di inquinanti organici, formazione d'inquinanti nei processi di combustione) 5. Biologiche (p. es. processi aerobici e anaerobici di biodecomposizione d'inquinanti organici) 6. Catalitiche (p. es. inceneritori catalitici, marmite catalitiche) 7. Varie.

Testi consigliati:

(per l'elenco dei testi consigliati e per la bibliografia essenziale inerente agli argomenti del Corso rivolgersi al Dipartimento di Ingegneria chimica e di Processo).

L'*esame* consiste in una prova scritta orale e comporta l'uso di un *personal computer* per la soluzione degli esercizi.

11143

PROCESSI BIOTECNOLOGICI AMBIENTALI

Docente: **Carlo Gostoli** prof. ass. (inc.)

Elementi di microbiologia (cellule eucariote e procariote, virus, classificazione dei microorganismi). 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 dei terreni. Processi di fermentazione (produzione di biomasse e di metaboliti). Tecniche di separazione a membrana.

816

PRODUZIONE E TRASPORTO DEGLI IDROCARBURI

Docente: **Guido Gottardi** prof. ass.

Il corso introduce allo studio di quel comparto dell'attività petrolifera che intercorre dallo sviluppo del campo di idrocarburi alla utilizzazione del prodotto. Vi sono in partico-

lare 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 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 desolforazione e sul degasolinaggio. 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.

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.

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.

Elementi di politica degli investimenti con riferimento allo sviluppo dei giacimenti.

Testi consigliati:

Dispense approvate dal docente.

Manuale di produzione del petrolio, AGIP.

Corso di produzione del petrolio (in francese), Istituto francese del petrolio.

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.

1019

TECNICA DEI SONDAGGIDocente: **Giovanni Brighenti** prof. ord.*Finalità del corso:*

Il corso fornisce le conoscenze di base relative alle tecniche di perforazione, alla progettazione dei pozzi per acqua e per idrocarburi nonché alle principali indagini geognostiche e geotecniche in situ.

Il corso 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 rotary: 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.

Durante il corso vengono svolte *esercitazioni* di calcolo, di laboratorio seminari e visite a impianti.

Testi consigliati:

Appunti del Docente (fotocopie).

CHILINGARIAN e VORABUTZ, *Drilling and Drilling Fluids*, Ed. Elsevier.

RABIA, *Oilwell Drilling Engineering*, Graham and Trotman.

INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE, *Cours de Forage*, Ed. Technip.

ENCICLOPEDIA DEL PETROLIO E DEL GAS NATURALE, *Voce Perforazione*, Ed. C. Colombo.

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.

HARLAN *et al.*, *Water-well Design and Construction*, Elsevier.

F.G. DRISCOL, *Ground water and wells*, Ed. Johnson.

M. CASSAN, *Les Essais in situ in mecanique des Sols*, Ed. Eyrolles.

Esami orali.

Propedeuticità consigliate: Geologia, Meccanica delle rocce, Fisica tecnica.

Tesi di Laurea: teoriche, sperimentali, di progetto.

7433

TECNICA DEL CONTROLLO AMBIENTALE (sem. per Amb.)

Docente: **Alessandro Cocchi** prof. ord. (inc.)

Finalità del Corso

Il corso 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 ciascuno di essi vengono fornite le leggi elementari del fenomeno fisico e della risposta fisiologica e gli elementi tecnici di base necessari per effettuarne il controllo in ambiente abitativo ed esterno, nonché i riferimenti normativi di base.

Programma

Elementi di termodinamica del moto dei fluidi

MOTO DEI FLUIDI COMPRIMIBILI — Il concetto di comprimibilità nella realtà delle applicazioni. Strato limite comprimibile. La velocità di propagazione delle onde di pressione. Casi di studio.

Elementi di bioenergetica

BENESSERE TERMOIGROMETRICO — Il metabolismo del corpo umano. Scambi combinati 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.

Testi consigliati:

Manuale di Progettazione Edilizia, vol. 2, *Criteri ambientali e impianti*, Ed. Hoepli, Milano.

11174

TECNICA DELLA SICUREZZA AMBIENTALE (sem.)

Docente: **Giigliola Spadoni** prof. ass. (inc.)

(Corso semestrale per gli indirizzi «Pianificazione e gestione territoriale» e «Difesa del suolo») (Corso annuale per l'indirizzo «Ambiente»).

Il corso si articola in due moduli: il primo è comune per tutti gli indirizzi, il secondo è riservato al solo indirizzo «Ambiente».

Finalità

Il corso ha per oggetto le tecniche da adottarsi per la identificazione e la stima quali-

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 impatti.

Programma

Modulo 1

Lo stato dell'ambiente in Italia e i fattori di pressione.

La Valutazione di Impatto Ambientale (VIA): l'articolazione della procedura, il campo di applicazione e i criteri di attuazione, gli Studi d'Impatto Ambientale (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 per lo studio della dispersione atmosferica di inquinanti (modelli semplici), esempio di impatto di una centrale termoelettrica.

Rischi specifici delle sostanze e dei preparati chimici: i parametri di identificazione, la classificazione, l'etichettatura, le schede di sicurezza. Problemi di igiene e sicurezza industriale. Applicazioni.

Analisi dei rischi delle attività non nucleari a rischio di incidente rilevante: la procedura ed il campo di applicazione, l'identificazione degli eventi incidentali, la stima delle frequenze e delle conseguenze, interventi per la prevenzione e mitigazione. Applicazioni.

Eco-label, Audit di sicurezza e ambientali: le procedure di attuazione e gli obiettivi.

Elementi per la gestione del rischio ambientale: i criteri di accettabilità e le valutazioni quali-quantitative adottabili, la comunicazione al pubblico.

Modulo 2

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 monitoraggio della qualità dell'aria: localizzazione dei sistemi, elaborazione statistica dei dati rilevati, modelli interpretativi di rilievi in zone urbane e/o industriali, interventi per il miglioramento della qualità.

Il rischio ambientale da agenti cancerogeni: classificazione e valutazione (identificazione dei pericoli, valutazione del legame dose-risposta (unità di rischio), valutazione dell'esposizione, caratterizzazione del rischio e criteri di accettabilità).

Studi (completi) di impatto ambientale: centrale termoelettrica ad olio combustibile o a carbone.

Seminari specifici sui progetti dell'alta velocità e della variante valico.

Per l'elenco dei testi consigliati rivolgersi al Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali.

9047

TECNICA DELLE COSTRUZIONIDocente: **Franco Zarri**, prof. ass.*Finalità del corso:*

Mettere gli allievi in grado di affrontare il progetto delle più ricorrenti strutture.

Programma

Il corso, 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.

Propedeuticità consigliate: Scienza delle costruzioni.

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 1 (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. III p. 1, 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.

Tesi di laurea: Progetti di strutture. Coordinamento con tutti gli Istituti interessati a problemi strutturali.

6804

TOPOGRAFIADocente: **Fabio Radicioni** ricerc. (inc.)

Cenni storici. Rappresentazione approssimata dell'ellissoide: campo geodetico e campo topografico. Coordinate curvilinee sull'ellissoide e relazioni reciproche. Cenni di rappresentazione della superficie terrestre su di un piano: carte geografiche.

Strumenti topografici per il rilievo con particolare riguardo a quello sotterraneo. La misura delle distanze mediante onde. Esempi di distanziometri ad onde. Teoria della compensazione delle misure. Variabili statistiche. Osservazioni dirette ed osservazioni condizionate.

Operazioni per il rilievo topografico. Punti di inquadramento e punti di dettaglio: triangolazioni, metodi di riattacco, poligonali e rilievo di dettaglio. Rilievo altimetrico, la livellazione geometrica di precisione. Determinazioni speditive di coordinate geografiche mediante osservazioni astronomiche con particolare riferimento alle applicazioni geominarie.

Topografia di miniera. Necessità di utilizzare strumenti topografici particolari nei rilievi di miniera. Vie di penetrazione nel sottosuolo: pozzi, gallerie e discenderie. Rilievi in superficie di inquadramento del rilievo in miniera. Planimetria sotterranea, illuminazione degli strumenti e dei segnali e loro sistemazione. Misure dirette di lati, misure indirette classiche e con strumenti ad onde. Uso della bussola e dell'eclimetro di miniera. Collegamento del rilievo in superficie con i rilievi sotterranei. Orientamento in miniera con l'uso del teodolite giroscopico. Confronto tra i vari metodi di orientamento del rilievo in miniera. Altimetria sotterranea. Livellazione trigonometrica e geometrica. Supporti e mire particolari. Livellazione idrostatica e sua utilizzazione in miniera. Dispositivi ed accorgimenti particolari per seguire le deformazioni delle gallerie nel tempo. Applicazione della livellazione per studiare l'abbassamento del suolo in conseguenza di lavori in miniera. Rilievi di profili nelle gallerie. Materializzazione di punti di profili. Tracciamento di gallerie.

Testi consigliati:

Dispense del corso (in distribuzione presso l'Istituto).

G. INGHILLERI, *Topografia generale*, UTET, 1974.

T. SEGUITI, *Topografia di miniera*, ed. Hoepli.

G. FOLLONI, *Principi di topografia*, Patron, Bologna 1982.

11182

VALORIZZAZIONE DELLE MATERIE PRIMEDocente: **Fulvio Ciancabilla** prof. ord. (inc.)*Finalità del corso:*

Il corso 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 rocciosi e dei minerali estratti dal suolo e dal sottosuolo, per il trattamento dei rifiuti solidi e per la chiarificazione delle acque.

Programma

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 dei 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.

Testi consigliati:

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.

Durante il corso si svolgono diverse *esercitazioni* di calcolo e laboratori dimostrativi, nonché eventuali accessi ad impianti.

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.

SETTORE DELL'INGEGNERIA DELLA INFORMAZIONE: CORSI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI, IN INGEGNERIA ELETTRONICA, IN INGEGNERIA INFORMATICA

Programmi delle materie di insegnamento

11131

AFFIDABILITÀ E DIAGNOSTICA DI COMPONENTI E CIRCUITI ELETTRONICI

Docente: **Bruno Riccò** prof. ord. (inc.)

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.

Il corso 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 «progettazione orientata al collaudo» 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 del corso*

Il corso 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 il corso.

4. *Materiale didattico*

È in preparazione da parte del Docente un testo che copre la parte principale del Corso. In attesa della pubblicazione del testo saranno disponibili delle dispense.

5. *Propedeuticità*

Per seguire il corso è indispensabile aver seguito i corsi di Elettronica Applicata I e II.

10381

ALGORITMI DI OTTIMIZZAZIONE

Docente: **Paolo Toth** prof. ord.

Il corso si propone di illustrare le tecniche più efficienti per la risoluzione dei problemi di ottimizzazione. Particolare attenzione viene dedicata all'aspetto algoritmico, alla definizione delle strutture dati più idonee ed alle applicazioni.

Programma

Classificazione dei problemi di ottimizzazione.

Modelli matematici dei problemi di ottimizzazione.

Complessità degli algoritmi e dei problemi di ottimizzazione combinatoria. Algoritmi di tipo esatto ed euristico.

Problemi polinomiali

Algoritmi per la determinazione di arborescenze ed assegnamenti a costo minimo.

Algoritmi esatti per problemi NP-completi — Programmazione dinamica: riduzione del numero degli stati, risoluzione dei problemi del sacco e del circuito hamiltoniano a costo minimo. Metodi «Branch and Bound»: determinazione dei «bound» (tecnica del subgradiente, procedure additive, inserzione di veicoli aggiuntivi, rilassamento dello spazio degli stati), criteri di dominanza, procedure di riduzione. Algoritmi per la risoluzione dei pro-

blemi dell'assegnamento generalizzato, del circuito e del ciclo hamiltoniano a costo minimo, dell'istadamento e schedulazione dei veicoli.

Algoritmi euristici per problemi NP-completi — Analisi delle prestazioni. Tecniche ad una o più fasi. Algoritmi per la risoluzione del circuito hamiltoniano a costo minimo, dell'istadamento e schedulazione dei veicoli, dell'assegnamento generalizzato.

Algoritmi branch-and-bound — Schemi di branching. Rilassamenti: continuo, lagrangiano, surrogato. Applicazione al problema knapsack multiplo. Procedure di riduzione. Algoritmi approssimati: analisi sperimentale, probabilistica, worst-case.

Testi consigliati:

N. CHRISTOFIDES, *Graph Theory: an Algorithmic Approach*, Wiley, 1978.

N. 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.

Esami: consistono in una prova scritta ed una orale.

Indirizzo delle Tesi di Laurea: problemi di ottimizzazione combinatoria.

1352

ANALISI MATEMATICA I

Docenti: **Silvano Matarasso** prof. ord. (A-D, Elettrici)

Carlo Ravaglia prof. ass. (E-O)

Costante Pontini ricerc. (inc.) (P-Z)

1. *Numeri reali - Funzioni elementari.*

Algebra delle proposizioni. Teoria ingenua degli insiemi. Relazioni. Relazioni binarie: di ordine, di equivalenza. Relazioni funzionali. Insiemi naturalmente ordinati: numeri naturali, principio di induzione, divisione euclidea, rappresentazione b-adica dei numeri naturali.

Gruppi, anelli, campi: omomorfismi, isomorfismi.

Anelli ordinati: regola dei segni, legge di annullamento del prodotto, sottoanello degli interi. Modello dell'anello dei numeri interi.

Campi ordinati: sottocampo razionale. Modello dei numeri razionali.

Campi ordinati completi: campo reale, insieme numerico ampliato. Rappresentazione b-adica. Funzione potenza, radice, esponenziale, logaritmica.

2. *Piano euclideo - Numeri complessi.*

Spazi vettoriali di dimensione finita: sottospazi, generatori, sistemi liberi, base, trasfor-

mazioni lineari e matrici, teorema dimensionale. Il piano euclideo \mathbf{R}^2 : proiezione ortogonale, riflessione, caratterizzazione delle isometrie che lasciano fissa l'origine, trasformazioni ortogonali, matrici ortogonali, rotazioni.

Campo complesso: forma algebrica, argomento, funzioni trigonometriche, potenze, radici.

3. Serie numeriche.

Serie regolari, serie assolutamente convergenti; serie in campo reale: criterio di confronto, criteri di convergenza, serie alternanti; serie in campo complesso: criteri di Dirichlet e di Abel, serie prodotto.

4. Topologia - Limiti.

Spazio topologico, metrico, vettoriale normato (studio di \mathbf{R} , $\bar{\mathbf{R}}$, \mathbf{R}^n). Successioni a valori in $\bar{\mathbf{R}}$, massimo e minimo limite, limite, successioni monotone. Successioni di punti in uno spazio topologico, punti limite. Compattezza in spazi topologici metrizzabili, teorema di Bolzano-Weierstrass, compatti della retta reale e di \mathbf{R}^n , compattezza di $\bar{\mathbf{R}}$ con la topologia usuale.

Completezza di uno spazio metrico: lo spazio euclideo \mathbf{R}^n è completo.

Limite di una funzione: limite della composizione; limite di funzioni a valori in $\bar{\mathbf{R}}$; **limite di funzioni da $\bar{\mathbf{R}}$ in $\bar{\mathbf{R}}$** : limite a destra e a sinistra, limite delle funzioni monotone, punti di discontinuità, limiti notevoli, infinitesimi ed infiniti; limite di funzioni da \mathbf{R}^n ad \mathbf{R}^m e di funzioni complesse di variabile complessa.

Continuità: caratterizzazione della continuità in un punto e della continuità globale, trasformazione di compatti mediante funzioni continue, teorema di Weierstrass, uniforme continuità, approssimazioni successive, contrazioni, prolungamento delle funzioni continue, connessi, teorema di Bolzano e teorema inverso.

Convergenza puntuale ed uniforme di una successione di funzioni: convergenza uniforme e proprietà della funzione limite.

Studio di alcuni spazi funzionali: spazio v.n. $\mathbf{B}(\mathbf{A}, \mathbf{R})$ delle funzioni definite in \mathbf{A} e a valori reali, limitate (norma del sup.): significato della convergenza in \mathbf{B} ; sottospazio di \mathbf{B} costituito dalle funzioni continue su \mathbf{A} .

5. Derivazione.

Il caso delle funzioni di variabile reale: derivata, studio locale del grafico di f , applicazione lineare tangente (differenziale), vettori tangenti, cammini in \mathbf{R}^n .

Proprietà delle derivate, funzioni derivabili su interalli, teoremi di Rolle, Cauchy, Lagrange e conseguenze, teoremi di L'Hospital, proprietà locali delle funzioni derivabili, formula di Taylor (resto di Peano e di Lagrange), metodo delle tangenti di Newton.

Derivazione termine a termine delle successioni di funzioni numeriche di variabile reale.

Il caso delle funzioni reali di più variabili reali: derivata direzionale, derivate parziali; funzioni definite implicitamente: il caso $f(x, y) = 0$ ($x, y \in \mathbf{R}^2$), derivata della funzione definita implicitamente, equazione della retta tangente in un punto non singolare.

6. Integrazione.

Integrale di Riemann per funzioni limitate: il caso delle funzioni generalmente continue (e limitate).

Integrale definito.

Derivazione e integrazione: funzioni integrali, primitive, esistenza delle primitive per

funzioni generalmente continue e limitate; integrazione definita per parti e per sostituzione.

Metodi di integrazione indefinita.

Misura di Peano-Jordan: proprietà della famiglia degli insiemi misurabili; misurabilità di un insieme di \mathbb{R}^n e misura della frontiera.

Integrali impropri: criteri di integrabilità.

7. Serie di potenze.

Serie di Taylor per funzioni reali di variabile reale; condizione sufficiente per la sviluppabilità; principali sviluppi.

Serie di potenze in campo complesso: raggio di convergenza e sue proprietà; comportamento rispetto alla derivazione e alla integrazione termine a termine.

Funzioni elementari in campo complesso: esponenziale, logaritmo, funzioni circolari ed iperboliche, funzione potenza (principali proprietà).

8. Equazioni differenziali lineari.

Equazione del primo ordine e formula risolutiva per il problema di Cauchy; il caso dei coefficienti costanti.

Equazioni del secondo ordine a coefficienti costanti: integrale generale.

Metodo di Lagrange per le equazioni non omogenee.

Bibliografia

A. ALVINO, L. CARBONE, G. TROMBETTI, *Esercitazioni di Matematica 1*, Liguori, Napoli, 1992.

G.C. BAROZZI, S. MATARASSO, *Analisi Matematica 1*, Zanichelli, Bologna, Ristampa riveduta, 1991.

P. MARCELLINI; C. SBORDONE, *Esercizi di Matematica 1*, Liguori, Napoli, 1989.

S. MATARASSO, T. RUGGERI, *Laboratorio di Matematica*, primo corso, Esculapio, Progetto Leonardo, Bologna, 1991.

C. PAGANI, S. SALSA, *Analisi Matematica 1*, Masson, Milano, 1991.

C. RAVAGLIA, *Analisi matematica 1*, CUSL, Bologna.

1356

ANALISI MATEMATICA II

Docenti: **Silvano Matarasso** prof. ord. (inc.) (A-D, Elettrici)

Carlo Ravaglia prof. ass. (E-O)

Carlo Ravaglia prof. ass. (P-Z, Chimici)

Finalità del corso:

Il Corso si propone di presentare, utilizzando gli strumenti introdotti nei Corsi di Analisi matematica I e di Geometria, alcuni argomenti matematici particolarmente importanti per le Scienze applicate.

Programma

Misura dei compatti in \mathbb{R}^n . Prime proprietà della misura. Somme di Riemann. Teorema di Riemann e definizione di integrale. Interpretazione geometrica. Proprietà dell'integrale. Teorema della media. Formule di riduzione per gli integrali multipli. Cambiamento di variabili negli integrali multipli. Coordinate polari nel piano e nello spazio. Cambiamenti lineari di coordinate. Integrali generalizzati. Criteri di convergenza. Integrali per funzioni generalmente continue.

Successioni e serie di funzioni. Convergenza semplice e uniforme. Continuità, derivazione e integrazione del limite. Sviluppabilità in serie. Funzioni analitiche reali. Integrali generalizzati dipendenti da un parametro. Cenno sulla teoria dell'integrazione secondo H. Lebesgue.

Numeri complessi. Successioni e serie complesse. Serie di potenze. Funzioni complesse. Funzioni olomorfe. Derivazione complessa. Equazione di Cauchy-Riemann. Equazioni di monogenia. Le funzioni elementari nel campo complesso. Identità di Eulero.

Disuguaglianza degli accrescimenti finiti. Teorema dell'inverso locale. Teorema delle funzioni implicite. Teorema del rango. Varietà differenziali. Vettori tangenti e vettori normali ad una varietà. Riferimento mobile di Cartan. Metodo dei moltiplicatori di Lagrange.

Equazioni e sistemi differenziali. Riduzione al primo ordine di un sistema di ordine superiore. Problema di Cauchy: esistenza e unicità. Carattere locale delle soluzioni. Sistemi lineari. Soluzione dei sistemi lineari a coefficienti costanti. Equazioni lineari d'ordine superiore. Soluzione delle equazioni lineari a coefficienti costanti. Spazio delle fasi.

Curve in \mathbb{R}^n . Parametrazioni. Lunghezza di una curva. Integrale di una funzione esteso ad una curva. Curve orientate. Vettori normali e vettori tangenti ad una curva. Forme differenziali. Condizioni di compatibilità. Forme chiuse e forme esatte. Condizioni di integrabilità. Lemma di Poincaré.

Superfici in \mathbb{R}^n . Parametrazioni. Piano tangente. Area di una superficie. Integrale di una funzione esteso ad una superficie. Superfici orientabili. Orientazione di una superficie. Forme differenziali bilineari. Differenziale esterno. Formula di Stokes. Specializzazione dei risultati al caso del piano e dello spazio. Formule di Gauss-Green, di Gauss-Ostrogradsky e di Stokes-Ampère. Analisi vettoriale nello spazio ordinario.

Testi consigliati:

- L. CEROFOLINI, *Calcolo, Corso di Analisi Matematica II p.*, Patron, 1974.
 H. FLANDERS, *Differential forms with applications to the physical sciences*. Academic Press, 1963.
 E. GIUSTI, *Analisi matematica II*, Ed. Boringhieri, Torino.
 A. FAVINI, E. LANCONELLI, E. OBRECHT, C. PARENTI, *Esercizi di Analisi matematica II (\mathbb{R}^n continuità, Differenziabilità, Equazioni differenziali, Integrazione)*, CLUEB, Bologna.
 B. DEMIDOMICH, *Esercizi e problemi di Analisi matematica II*, Ed. Riuniti, Roma.

6372

ANALISI MATEMATICA IIIDocenti: **Giulio Cesare Barozzi** prof. ord. (A-K)**Davide Guidetti** prof. ass. (L-Z)*Finalità del corso*

Fornire agli studenti gli schemi concettuali e gli strumenti matematici per seguire i corsi relativi alla laurea in Ingegneria Elettronica, Informatica e Telecomunicazioni.

*Programma**Funzioni di una variabile complessa e trasformata di Laplace*

Richiami sul campo complesso. Funzioni analitiche; le condizioni di Cauchy-Riemann. Rappresentazioni conformi. Integrazione in campo complesso: il teorema integrale di Cauchy, la formula di Cauchy. Richiami sulle serie di potenze. Sviluppo di una funzione analitica in serie di potenze. Indefinita derivabilità delle funzioni analitiche. Il teorema di Morera. Zeri delle funzioni analitiche e loro proprietà. Funzioni intere. Il teorema di Liouville, il teorema fondamentale dell'algebra. Sviluppo di una funzione analitica in una corona circolare in serie bilatera; il teorema di Laurent. Punti singolari isolati e loro classificazione. Residui; il teorema dei residui con applicazioni al calcolo di integrali impropri. La trasformata di Laplace (L.T.); definizione e principali proprietà. Analiticità della L.T. Applicazione alla soluzione di equazioni differenziali lineari a coefficienti costanti. Il teorema del valore finale. Convoluzione di segnali. Inversione della L.T.

Analisi di Fourier

Serie di F.: convergenza puntuale, convergenza uniforme, convergenza in media quadratica. Spazio di Hilbert. La disuguaglianza di Bessel, l'identità di Parseval. La trasformata di Fourier (F.T.); definizione e principali proprietà. L'inversione della F.T.; legame tra la L.T. e la F.T.

Calcolo delle probabilità e processi stocastici

Gli assiomi della probabilità. Variabili aleatorie; funzioni di variabili aleatorie. Variabili aleatorie doppie e relative funzioni. Processi stocastici stazionari.

Testi consigliati:

J. BACK, D.J. NEWMAN, *Complex Analysis*, Springer (New York), 1982.

A.N. KOMOGOROV, S.V. FOMIN, *Elementi di teoria delle funzioni e di analisi funzionale*, Editori Riuniti (Roma).

A. PAPOULIS, *Probabilità, variabili aleatorie, processi stocastici*, Boringhieri (Torino) 1973.

Dispense tratte dalle lezioni (relative a Funzioni di una variabile complessa), L.T. (G.C. Barozzi); F.T. (F. Segala); serie di Fourier (G.C. Barozzi), Esculapio, Pitagora (Bologna).

Propedeuticità consigliate: Analisi Matematica I e II, Geometria e Algebra.

11132

ARCHITETTURE DEI SISTEMI INTEGRATIDocente: **Roberto Guerrieri** prof. ass.*Finalità del corso*

Il corso si propone di investigare le architetture dei calcolatori integrati, al fine di dare gli strumenti concettuali per comprendere le scelte architettureali che hanno portato ai sistemi di calcolo odierni e per guidare in scelte progettuali autonome a livello architettureale.

*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 subsistema elettronico

Verrà esaminato il subsistema di memoria di una stazione di lavoro avanzata, con enfasi sulla interazione tra le specifiche elettriche di sistema e le esigenze architettureali.

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.

Il corso 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*.

1679

AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE SANITARIA

Docente: **Claudio Lamberti** ricerc. (inc.)

Il corso 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. Laboratorio di cateterismo cardiaco. Unità di Terapia Intensiva. Laboratorio di diagnostica per immagini: Ecografia ad ultrasuoni, Tomografia Computerizzata, Risonanza Magnetica Nucleare. Valutazione della accuratezza dei test diagnostici.

2. Ingegneria Clinica.

La gestione delle tecnologie nei presidi sanitari. L'inventariazione e la manutenzione delle apparecchiature. L'ingegnere clinico ed il tecnico biomedico: attività e competenze. L'ingegneria clinica in Italia e nel mondo: alcune esperienze significative.

3. Sistemi Informativi Sanitari.

Caratteristiche generali dei principali componenti di un Sistema Informativo Sanitario. Modello centralizzato e modello distribuito. Alcune realizzazioni significative. Cartella clinica tradizionale e problemi relativi alla sua automazione. Indicatori sanitari. Criteri ed

esempi per il dimensionamento di alcuni servizi sanitari. **Diagnosis Related Groups (DRG)** e loro utilizzo.

*Visita guidata presso alcune strutture sanitarie cittadine.
Seminari tenuti da esperti esterni.*

Testi consigliati:

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.

10411

AUTOMAZIONE INDUSTRIALE (Elettronica, Informatica)

Docente: **Ing. Carlo Amanti** (inc. est.)

Organizzazione di impresa e processi 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 del corso verranno esaminati gli aspetti più propriamente gestionali dell'automazione della produzione. Verranno presentati i metodi più utilizzati nella gestione e programmazione industriale (MRP-MRP II-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.

7940

BIOINGEGNERIA I

Docente: **Gianni Gaudi** prof. ass.

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, che sono normalmente oggetto di misura, elaborazione e controllo.

Programma

1. L'ingegneria biomedica
 - definizione e finalità dell'ingegneria biomedica
 - figure professionali e relativa terminologia internazionale
 - situazione negli ospedali, nelle università e nell'industria, in Italia e nel mondo
2. Elementi propedeutici di biologia e fisiologia
 - proprietà chimiche e fisiche generali della sostanza vivente

- organizzazione degli esseri viventi: cellule, tessuti, organi ed organismi
- confronto fra sistemi biologici e sistemi artificiali e problemi posti all'impiego del metodo ingegneristico nell'analisi dei sistemi biologici
- la cellula e le sue funzioni
- trasporto attraverso la membrana cellulare
- modello elettrico di membrana e potenziale di azione
- l'organismo umano come sistema che funziona ed interagisce con l'ambiente attraverso un flusso continuo di materia, energia ed informazione

3. Sistema cardiocircolatorio

- struttura generale
- proprietà chimiche e fisiche del sangue
- elementi di emodinamica: trattazione semplificata del flusso ematico pulsatile nei vasi sanguigni e analisi fenomenologica del flusso nei vasi collassabili
- gli eventi cardiaci: andamenti temporali e valori tipici delle principali grandezze
- il modello windkessel
- il sistema cardiovascolare come circuito chiuso: analisi ai valori medi secondo Guyton; curva di funzione cardiaca, curva del ritorno venoso e relativo punto di lavoro
- scambi tra sangue e liquido interstiziale
- metodologie di misura della pressione, della portata e del volume ematici nei vari distretti, nonché dei principali parametri che caratterizzano il sistema cardiovascolare
- circolazione linfatica

4. Sistema renale

- distribuzione dei liquidi nell'organismo
- struttura generale e principi di funzionamento del rene
- definizione e misura della «clearance» renale
- portata di filtrazione glomerulare e sua misura
- ruolo del rene nel mantenimento dell'omeostasi

5. Sistema respiratorio

- struttura generale e principi di funzionamento
- ventilazione polmonare, volumi e capacità relativi
- analisi semplificata della dinamica respiratoria
- meccanismi di trasporto dei gas nei polmoni
- trasporto dell'ossigeno e dell'anidride carbonica nel sangue, nei liquidi e tessuti corporei
- misure di funzionalità respiratoria

6. Modelli a compartimenti

- Definizione di compartimento
- Descrizione della cinetica di sostanze mediante scambi fra compartimenti
- Identificabilità a priori ed elementi di identificazione parametrica

7. Elementi di regolazione dell'equilibrio acido-base

8. Elementi di elettrocardiografia

- potenziale di azione propagato
- basi fisiche dell'elettrocardiografia
- derivazioni elettrocardiografiche e dipolo cardiaco
- cenno ai principali sistemi di derivazioni ECG

Il corso è integrato da esercitazioni al computer consistenti nella soluzione di problemi, nella messa a punto e impiego di semplici programmi per la simulazione di esperimenti fisiologici e clinici.

Testi consigliati:

Dispense redatte dal docente.

D.O. COONEY, *Biomedical Engineering Principles*, Marcel Dekker, New York, 1976.

A.C. GUYTON, *Trattato di fisiologica medica*, Piccin Nuova Libreria, Padova, 1987, 3^a edizione italiana dalla 6^a americana a cura di A. Curatolo e P. D'Arcangelo.

10412

BIOINGEGNERIA II

Docente: **Angelo Cappello** prof. ass.

Finalità del corso

Scopo del corso è quello di fornire una visione unificante dei fenomeni biomeccanici nella fisiopatologia umana. Partendo dalla meccanica dei corpi rigidi viene dapprima affrontato lo studio cinematico e dinamico del movimento umano, sottolineandone la rilevanza in clinica ortopedica, riabilitazione e medicina sportiva. Evidenziati i limiti dell'ipotesi di rigidità, viene quindi introdotta la meccanica dei mezzi continui deformabili secondo un formalismo semplificato che fa ampio ricorso al calcolo matriciale. Vengono così introdotte le nozioni di base per l'analisi delle proprietà meccaniche dei tessuti biologici e per lo studio dei principali sistemi fisiologici.

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 allo studio dei sistemi cardiovascolare e muscolo-scheletrico, con applicazioni alla fisiologia e alla clinica.

Attraverso semplici esempi viene infine illustrata l'applicazione di queste conoscenze al progetto ingegneristico di apparecchiature diagnostiche e terapeutiche.

Il corso, coordinato con gli altri insegnamenti dell'indirizzo di Bioingegneria, è specificamente orientato agli allievi elettronici, non solo per la scelta dei contenuti, ma anche per la trattazione dei problemi orientata alla loro soluzione mediante computer elettronico.

Programma

1. *Dinamica della locomozione*. Richiami di meccanica dei corpi rigidi. Componenti del sistema neuro-muscolo-scheletrico. Cinematica e dinamica della locomozione. Il Laboratorio di Analisi del Movimento. Modelli diretti ed inversi del sistema muscolo-scheletrico. Applicazioni in ortopedia, medicina sportiva e riabilitazione.
2. *Meccanica del continuo per lo studio di materiali e sistemi biologici*. Tensione, spostamento e deformazione. Equazioni costitutive: fluido non viscoso, fluidi viscoso newtoniano, solido elastico di Hooke. Bilancio di materia ed energia nei mezzi continui. Equazione di Navier-Stokes per un fluido newtoniano incomprimibile, equazione di Navier per un solido elastico lineare.
3. *Meccanica dei tessuti passivi*. I biomateriali. Caratteristiche di comportamento: elasticità non lineare, rilassamento, creep, isteresi. Analisi alle piccole deformazioni: viscoelasticità lineare. Modelli di Maxwell e di Voigt. Solido lineare standard. Modello di Boltzmann. Applicazioni: tendini, legamenti. I vasi arteriosi come esempio di materiale composito.
4. *Meccanica ortopedica*. Biomateriali di ortopedia: cartilagine, osso, materiali protesici. Rimodellamento osseo. Tecniche computazionali. Il Laboratorio di Tecnologia dei Materiali: misure sui materiali e componenti. La protesi d'anca.
5. *Meccanica 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). Il muscolo cardiaco: struttura, proprietà meccaniche, modellistica.
6. *Meccanica cardiaca*. Dal muscolo cardiaco alla meccanica ventricolare. Il cuore come pompa pulsatile: modelli ad elastanza variabile. Il cuore artificiale.
7. *Fluidodinamica arteriosa*. Il sistema vascolare nell'uomo. Il sangue. Le grandi arterie, la microcircolazione. Il problema fluidodinamico. Fenomeni non lineari: caratteristica elastica della parete arteriosa, grandi deformazioni, accelerazioni convettive, conicità del vaso. Approcci computazionali. Modelli linearizzati. Fenomeni resistivi, inerziali ed elastici. Propagazione nelle arterie. L'impedenza d'ingresso aortica. Interazione cuore-carico. Protesi vascolari, apparecchiature per la circolazione extracorporea.

Testi consigliati:

Dispense redatte dal docente.

- D.A. WINTER, *Biomechanics and motor control of human movement*, John Wiley, New York.
- B.M. NIGG, W. HERZOG (Eds.), *Biomechanics of the musculo-skeletal system*, John Wiley, New York.
- Y.C. FUNG, *Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues*, Springer-Verlag, New York.
- M. NORDIN, V.H. FRANKE, *Basic biomechanics of the musculoskeletal system*, Lea & Febiger, Malvern.
- J. BLACK, *Orthopaedic Biomaterials in Research and Practice*, Churchill Livingstone, New York.

V.C. MOW, W.C. HAYES, *Basic Orthopaedic Biomechanics*, Raven Press, New York.
W.R. MILNOR, *Hemodynamics*, Williams & Wilkins, Baltimore.

Esercitazioni. Il corso è integrato da esercitazioni di laboratorio volte a favorire la capacità di definire e risolvere concreti problemi di biomeccanica. Esse consistono nella riproduzione realistica di esperimenti biomeccanici e nella caratterizzazione di biomateriali e sistemi biologici a partire da dati sperimentali. Verranno inoltre svolte tesine per l'approfondimento di temi specifici e rilevanti del corso nonché seminari e visite presso i Laboratori degli Istituti Ortopedici Rizzoli.

Esame: prova scritta in corso d'anno, prova orale finale.

Propedeuticità consigliate: Bioingegneria I.

11133

BIOINGEGNERIA III

Docente: Enzo Belardinelli prof. ord.

Obiettivi e connotazione del corso

Il corso si propone di fornire le conoscenze di base per l'analisi della classe dei sistemi naturali a significativa connotazione biologica e gli strumenti per interpretarne ed, eventualmente, modificarne la dinamica negli aspetti che maggiormente influiscono sulla vita degli organismi.

L'approccio seguito è di tipo modellistico con particolare riferimento all'aspetto metodologico della modellistica matematica. I metodi del *model making* sono applicati a significativi problemi biologici, i cui modelli — dai più semplici ai più complessi — sono presentati e discussi criticamente.

Allo scopo di fornire una visione esauriente delle problematiche biologiche e delle potenzialità dello strumento modellistico, il corso prende in esame sistemi di popolazioni interagenit, l'interazione tra organismo ed ambiente, la fisiologia di alcuni apparati degli organismi superiori. Le problematiche generali di tipo interdisciplinare — come la complessità, il caos, le reti neuronali — emergenti dai singoli argomenti sono oggetto di sintetica trattazione.

Le conoscenze di base nei corsi precedenti sono generalmente sufficienti per affrontare gli argomenti sopraccennati; su alcuni aspetti specifici di carattere matematico saranno svolte lezioni complementari, inserite nel contesto della trattazione.

Programma

Parte I - Concetti generali

1. Modellistica matematica

Breve storia dei modelli. Teoria e modelli. Struttura logica della costruzione dei mo-

delli. Approssimazione ed errori di modello. Rapporto tra modellistica e sperimentazione. Assegnamento dei parametri, metodi indiretti e diretti. Bilanci di massa e di energia. Modelli compartimentali.

2. Concetti biologici di base

Funzioni biologiche fondamentali (nutrizione, metabolismo, riproduzione, adattamento). Fattori condizionanti lo sviluppo di un singolo organismo e di una popolazione in ambiente terrestre ed acquatico. Interazioni tra popolazioni (predazione, competizione, commensalismo, simbiosi). Migrazione. Fattori abiotici influenti sulla vita degli organismi (energia solare, pressione, temperatura, composizione chimica dell'ambiente).

Parte II - Modelli di sistemi biologici

1. Dinamica delle popolazioni

Crescita logistica. Sistemi di due popolazioni interagenti: equazioni di Volterra. Richiami e complementi di meccanica nonlineare (punti di equilibrio, cicli limite, attrattori strani). Sistemi di tre popolazioni interagenti. Cenni al caso generale di n popolazioni interagenti.

2. Interazione organismi-ambiente

Introduzione dei fattori abiotici nei modelli precedenti. Flussi di energia in un ecosistema: modello di Odum e Patten. Cinetiche batteriche in un sistema acquatico: modello di Streeter e Phelps. Equazioni del trasporto e della diffusione, metodo delle caratteristiche. Generalizzazione del modello di S. e P.: modello di Stehfest. Rapporti sensoriali degli organismi superiori con l'ambiente. Sistema senso-psico-motorio. Reazione dell'organismo a stimoli ambientali di carattere fisico-chimico.

3. Caratteri funzionali degli organismi superiori

Elementi di struttura anatomo-funzionale degli organismi superiori. Neuroni e sistema nervoso. Modello del neurone di Hodgkin-Huxley. Sinapsi. Recettori. Neuroni artificiali e reti neurali. Modelli matematici dei controlli cardiovascolari.

Il corso è integrato da *esercitazioni* su problemi di raccolta dati, di simulazione e di identificazione parametrica.

Testi di studio o di consultazione:

Appunti del docente.

A. MAYNARD SMITH, *Models in Ecology*, Cambridge Un. Press, 1979.

S. MARSILI-LIBELLI, *Modelli matematici per l'ecologia*, Pitagora Ed., 1989.

J.L. CASTI, *Alternate Realities. Mathematical models of Nature and Man*, J. Wiley, 1989.

G. CASATI, *Il caos*, Le Scienze Ed., 1990.

G. ZANARINI, R. SERRA, *Tra ordine e caos*, CLUEB, 1986.

S. RINALDI, H. STEHFEST e al., *Modelling and Control of River Quality*, Mc Graw Hill N.Y. 1979.

J. GUCKENHEIMER, P. HOLMES, *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems and Bifurcation of Vector Fields* Springer-Verlag, 1986.

10383

CALCOLATORI ELETTRONICI IDocenti: **Giovanni Neri** prof. ord. (A-K)**Tullio Salmon Cinotti** prof. ass. (L-Z)

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 subroutine.

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.

10384

CALCOLATORI ELETTRONICI IIDocente: **Maurelio Boari** prof. ord.*Finalità del Corso:*

Il corso si propone di introdurre i concetti fondamentali nel campo del software di base e in particolare dei sistemi operativi e di definire l'interazione esistente tra il software di base e l'architettura dei sistemi di calcolo.

Programma

1. Introduzione e brevi richiami sulla classificazione dei sistemi di calcolo e sulle loro modalità di gestione.

2. Proprietà e funzioni principali di un sistema operativo. Processi concorrenti, modalità di interazione tra processi. Primitive di sincronizzazione, blocco critico.

Struttura e proprietà del supporto a tempo di esecuzione di un sistema di processi nel caso mono e multiprocessore.

3. Algoritmi per la gestione dell'unità di elaborazione.

Gestione della memoria: memoria virtuale, tecniche di realizzazione della memoria virtuale. Gestione dei dispositivi di ingresso uscita. Gestione degli archivi. Modelli e tecniche di protezione.

4. Modelli per la comunicazione tra processi: memoria globale, scambio di messaggi, chiamata di procedura remota. Costrutti linguistici ad alto livello per esprimere la concorrenza nei singoli modelli. Linguaggi di programmazione concorrente. Azioni atomiche.

5. Sistemi distribuiti: motivazioni, topologia, modelli, meccanismi di comunicazione e sincronizzazione. Sistemi operativi di rete. Accesso remoto agli archivi.

6. Sistema operativo UNIX. Struttura ed organizzazione. Linguaggio comandi.

Testi consigliati:

P. ANCILOTTI, M. BOARI, *Principi e tecniche di programmazione concorrente*, UTET 1988.
A. SILBERSCHATZ, J.L. PETERSON, *Operating System Concepts*, Addison Wisley 1988.

7941

CAMPI ELETTROMAGNETICI

Docenti: **Giancarlo Corazza** prof. ord. (A-K)

Vittorio Rizzoli prod. ord. (L-Z)

Finalità del corso:

Introduzione ai fenomeni fisici che sono alla base dei sistemi di telecomunicazioni e alla loro descrizione matematica.

*Programma**Parte I (Campi elettromagnetici):*

Equazioni di Maxwell, teorema di Poynting, teorema di unicità per vettori istantanei e per vettori complessi. Equazioni delle onde e di Helmholtz.

Onde piane.

Potenziali elettromagnetici. Espressioni generali in funzione delle correnti impresse e delle condizioni al contorno.

Sorgenti elementari. Momento equivalente di una sorgente estesa.

Grandezze caratteristiche della radiazione.

Schiere d'antenne: generalità; schiere uniformi.

Onde guidate: impostazione del problema; modi TE, TM, TEM; guide d'onda rettangolari.

Parte II (Circuiti):

Linee di trasmissione; carta di Smith; adattatori d'impedenza.

Analisi delle reti lineari: n-porte, loro descrizione e connessioni; reti elettriche a n-porte; matrici topologiche; risoluzione delle reti; frequenze proprie e stabilità.

Analisi di bipoli passivi; proprietà generali delle funzioni riflettanza e immetenza.

Sintesi di bipoli passivi: preambolo di Foster; sintesi di funzioni di reattanza; cenni sulle sintesi di bipoli contenenti resistori.

Testi consigliati:

G.C. CORAZZA, *Fondamenti di campi elettromagnetici e circuiti*, 2 volumi.

Esami orali (Teoria e risoluzione di esercizi).

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica I, Complementi di matematiche, Elettronica applicata I.

1361

CHIMICA

Docenti: **Flavio Zignani** prof. ord. (A-D) (Elettrici)

Marino Poloni prof. ass. (E-O)

Agostino Desalvo prof. ass. (P-Z)

Il corso si propone: a) inquadrare in modo del tutto generale l'intero campo delle proprietà microscopiche dei sistemi chimici analizzando la struttura chimica dei nuclei atomici, degli atomi e delle molecole; b) coordinare l'insieme delle proprietà macroscopiche dei sistemi chimici impiegando la trattazione termodinamica, e facendo uso ove possibile delle conoscenze della struttura microscopica della materia già acquisite; c) dare particolare rilievo allo studio delle proprietà chimico-fisiche di quegli elementi e composti chimici di grande importanza nelle applicazioni elettroniche.

Parte I - Struttura della materia. Sistemi omogenei ed eterogenei: concetto di fase. Cenni storici sulle particelle costituenti l'atomo. Dimensioni e massa degli atomi. Isotopi. Scala dei pesi atomici. Unsità di massa atomica.

Il nucleo dell'atomo. Numero di massa e numero atomico. Nuclidi stabili ed instabili.

Radioattività e processi di decadimento radioattivo. Famiglie radioattive. Difetto di massa ed energia nucleare. Cenni su fissione e fusione nucleare.

Struttura elettronica degli atomi. Spettri di emissione caratteristici degli atomi. Raggi X e legge di Moseley. Quantizzazione dell'energia. Modello atomico di Bohr-Sommerfeld. Spin dell'elettrone. Principio di esclusione di Pauli. Principio di indeterminazione. Natura dualistica dell'elettrone. Meccanica ondulatoria: la funzione d'onda e suo significato. Atomo di idrogeno. Numeri quantici e orbitali. Orbitali atomici e livelli energetici di atomi con più elettroni.

Distribuzione degli elettroni e sistema periodico. Regola di Hund. Riempimento progressivo degli orbitali: configurazioni elettroniche degli atomi. Il sistema periodico: gruppi, periodi e serie di transizione. Proprietà periodiche.

Il legame chimico. Interazioni tra atomi. Curva di Morse. A) *Il legame ionico.* La molecola e il cristallo di un composto ionico. Valenza ionica: struttura e proprietà dei composti ionici. B) *Il legame covalente:* legami semplici e multipli. Molecole polari e non polari. Legame covalente di coordinazione. Stati di ossidazione degli elementi. La teoria dei legami di valenza: orbitali ibridi e geometria molecolare. Concetto di isomeria. Molecole poliatomiche tipiche. La teoria degli orbitali molecolari: molecole biatomiche omonucleari ed eteronucleari. Il legame polarizzato. Orbitali delocalizzati. C) *Il legame metallico.* Teoria delle bande. Conduttori, isolanti e semiconduttori. D) *Legame a idrogeno e forze di Van der Waals.*

Parte II - Stati di aggregazione della materia. Lo stato gassoso. Leggi fondamentali e loro applicazioni ai gas ideali e reali. Temperatura critica e di liquefazione. *Lo stato solido.* Tipi e caratteristiche dei solidi ionici, amorfi e cristallini. Difetti reticolari nei cristalli. Soluzioni solide. *Lo stato liquido.* Equilibrio liquido-vapore. Tipi di soluzioni: gassose, liquide e solide. Composizione di una soluzione: modi di esprimere la concentrazione delle soluzioni. Soluzioni ioniche.

Parte III - Dinamica chimica. Formule chimiche. Leggi delle combinazioni chimiche. Tipi di reazioni e loro bilanciamento. Calcoli stechiometrici. Pesi equivalenti nelle diverse reazioni chimiche. *1° Principio della Termodinamica.* Concetto di sistema, funzione di stato, reversibilità, irreversibilità, lavoro e calore. Energia interna ed entalpia. Relazione tra C_p e C_v . Termochimica. Energia in gioco nelle reazioni: calcolo delle entalpie di reazione. Reazioni eso- ed endo-termiche. Legge di Hess e sue applicazioni. Entalpia di formazione e di combustione. *2° Principio della termodinamica:* trasformazioni spontanee e probabilità termodinamica di stato. Concetto di entropia. *3° Principio della termodinamica* e calcolo della entropia assoluta. Trasformazioni spontanee ed energia libera. Energia libera standard. Variazione di energia libera in una reazione. Le costanti di equilibrio. Determinazione della composizione all'equilibrio e del rendimento di una reazione. Fattori che incidono sull'equilibrio chimico. Equilibri omogenei ed eterogenei. Dissociazione dell'acqua e prodotto ionico. Acidi, basi e sali. Forza degli acidi e delle basi. Calcolo del pH. Idrolisi. Prodotto di solubilità. *Equilibri tra fasi diverse.* Regola delle fasi e applicazioni. Equazione di Clausius-Clapeyron. Diagrammi di stato di sistemi ad un componente: H_2O , CO_2 e zolfo.

Termodinamica elettrochimica. Potenziale elettrochimico. Semielementi e pile. Equazione di Nernst. Serie dei potenziali standard. Applicazioni elettrochimiche. Elettrolisi e tensione di decomposizione. Leggi di Faraday. Cenni sulla corrosione dei metalli.

Parte IV - Cinetica chimica. Velocità di reazione. Influenza della concentrazione sulla velocità di reazione: equazione cinetica e ordine di reazione. Influenza della temperatura sulla velocità di reazione: teoria delle collisioni, complesso attivato, energia di attivazione, fattore sterico ed equazione di Arrhenius. Catalisi omogenea ed eterogenea: azione dei catalizzatori.

Il corso comprende anche esercizi e calcoli numerici (stechiometria, termodinamica chimica, equilibri chimici, pH, idrolisi, solubilità, ed elettrochimica).

Testi consigliati:

P. CHIORBOLI, *Fondamenti di Chimica*, Ed. UTET, Torino.

P. MANARESI, E. MARIANUCCI, *Problemi di chimica per Ingegneria*, Ed. Esculapio, Bologna, 1993.

R.A. MICHELIN, M. MOZZON, A. MUNARI, *Test ed Esercizi di Chimica*, CEDAM, Padova.

7942

CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI

Docente: **Renato Colle** prof. ord.

Il corso si propone di far acquisire i fondamenti della meccanica quantistica e i primi elementi di meccanica statistica, nonché di presentare varie applicazioni di tali discipline a problemi atomici, molecolari e di stato solido.

Il corso, che per altro può essere considerato anche come base culturale a sé stante; è strettamente coordinato con il corso di Elettronica dello Stato Solido, del quale costituisce una premessa fortemente consigliata.

Programma

Meccanica Quantistica

Parte I: Introduzione alla Meccanica Quantistica.

Crisi della fisica classica: difficoltà connesse con i calori specifici, lo spettro del corpo nero, l'interpretazione dell'effetto fotoelettrico, dell'effetto Compton e degli spettri atomici. Nuovi modelli proposti: fotoni, ipotesi di Bohr, ipotesi di de Broglie. Interpretazione delle esperienze di Bragg, Davisson-Germer e di Stern-Gerlach. Discussione delle esperienze di interferenza e delle esperienze con il polaroid e il cristallo birifrangente. Misure compatibili e incompatibili, principio di indeterminazione. Descrizione degli stati di polarizzazione di un fotone. Parallelo tra ottica ondulatoria e meccanica ondulatoria.

Parte II

A) 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 Schrödinger 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 e interazione radiazione-materia.

B) Meccanica Quantistica Ondulatoria

Equazioni d'onda e interpretazione fisica della funzione d'onda. Moto di una particella in potenziali modello: proprietà generali, particella libera e pacchetti d'onde, buche e barriere di potenziale, effetto tunnel, potenziale periodico. Limite classico della Meccanica Quantistica.

C) Teoria dei momenti angolari e della simmetria

Rotazioni: trattazione classica e quantistica. Operatori di momento angolare: autovetori, 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.

D) Applicazioni a problemi atomici e molecolari

Particella in un campo centrale. Sistemi a due particelle: atomi idrogenoidi e molecola biatomica. Principio di esclusione di Pauli, configurazioni elettroniche e determinante di Slater, atomo di elio. Metodi di approssimazione: teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo (strutture fini ed effetti Stark e Zeeman), metodo variazionale (Hartree-Fock e problema della correlazione elettronica). Elementi di teoria della diffusione.

E) Applicazioni a problemi di stato solido

Proprietà generali dei solidi. Proprietà geometriche di un cristallo, reticolo diretto e reciproco. Superficie di Fermi e densità dei livelli. Teorema di Bloch e condizioni al contorno, equazione di Schrödinger nello spazio dei momenti, livelli elettronici in un potenziale periodico, livelli energetici vicino ad un piano di Bragg, struttura a bande. Teoria semiclassica della conduzione nei metalli. Proprietà generali dei semiconduttori.

Elementi di Meccanica Statistica

Stato di equilibrio e fluttuazioni, densità degli stati, funzione di partizione. Entropia di Boltzmann. Distribuzioni statistiche: Maxwell-Boltzmann, Fermi-Dirac, Bose-Einstein. Esempi ed applicazioni.

Testi consigliati:

J.J. SAKURAI, *Meccanica Quantistica Moderna*, ed. Zanichelli.

C. COHEN-TANNOUDJI, D. DIU, F. LALOË, *Quantum Mechanics*, ed. Wiley.

N.W. ASHCROFT, N.D. MERMIN, *Solid-State Physics*, ed. Holt-Saunders International.

COMUNICAZIONI ELETTRICHE

Docenti: **Leonardo Calandrino**, prof. ord. (Ing. Informazione A-K)
Carlo Caini, ricerc. (inc.) (Ing. Informazione L-Z)

Finalità del corso

Il corso ha l'obiettivo di presentare l'ampio scenario delle telecomunicazioni e di fornire le basi per lo studio dei sistemi di trasmissione dell'informazione. Partendo dalla teoria dei segnali, vengono forniti i criteri di progetto dei collegamenti per telecomunicazioni ed introdotte le problematiche essenziali di rete.

Scenario delle telecomunicazioni

Segnali e collegamenti. Reti di telecomunicazione. Organismi normativi internazionali. Aspetti economici.

Teoria dei segnali

Analisi dei segnali deterministici continui e discreti: analisi di Fourier ed analisi di Fourier generalizzata, spettri di ampiezza e di fase, spettri di energia e di potenza.

Analisi dei segnali aleatori continui e discreti: segnali stazionari, segnali ergodici, spettri di potenza, spettri di potenza dei segnali PAM.

Circuiti lineari: funzione di trasferimento, risposta impulsiva, condizioni di non distorsione, filtri.

Conversione di un segnale da analogico a digitale e da digitale ad analogico.

Multiplicazione a divisione di tempo e a divisione di frequenza: principi ed applicazioni.

Elementi di teoria della modulazione: introduzione e definizioni, segnali modulati di tipo analogico (AM, DSB-SC, SSB, VSB, QAM, PM, FM), cenni sui segnali modulati di tipo numerico (OOK, L-ASK, M-QAM, L-PSK, L-CPFSK), involucri complessi rappresentativi.

Reti passa banda: funzione di trasferimento equivalente passo-basso, condizioni di non distorsione di gruppo.

Rumore

Il rumore di fondo. Principali cause di rumore nei circuiti elettronici. Cifra di rumore e temperatura equivalente di rumore di un apparato, temperatura equivalente di rumore di una sorgente e di sistema.

Sistemi di trasmissione dell'informazione

Cenni sui principali canali di trasmissione. Progetto di massima di un collegamento numerico PAM: riconoscimento del segnale in presenza di rumore e di distorsioni, condizioni per l'annullamento dell'interferenza intersimbolo. Cenni sui sistemi di trasmissione OOK in fibra ottica.

Applicazioni ai principali servizi, normative e prospettive di sviluppo

Segnali per fonia, dati, testi, immagini, segnali destinati alla radiodiffusione (audio e video), reti integrate nei servizi (ISDN).

Esercitazioni in aula ed in laboratorio (hardware e software).

Testi consigliati:

L. CALANDRINO, G. IMMOVILLI, *Schemi delle lezioni di Comunicazioni Elettriche*, Pitagora Ed., Bologna.

C. CAINI, C. RAFFAELLI, *Laboratorio di comunicazioni Elettriche*, Pitagora Ed., Bologna.

Esami scritti e orali.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica I, Analisi matematica III.

196

CONTROLLI AUTOMATICI

Docenti: **Eugenio Sarti** prof. ord. (Elettron. e Telecom. A-K)

Gloria Capitani prof. ass. (Elettron. e Telecom. L-Z)

Finalità del corso

Fornire: (a) le nozioni fondamentali di modellistica dei sistemi dinamici, anche in vista delle applicazioni ad altri ambiti disciplinari dei due corsi di laurea interessati; (b) i metodi fondamentali di analisi e sintesi dei sistemi di controllo, in modo da mettere gli studenti in grado di risolvere i più semplici problemi tecnici che gli si possono presentare nell'attività professionale pertinente alle rispettive lauree; (c) un primo inquadramento ingegneristico — sia metodologico sia tecnologico — della problematica tipica dell'elettronica e delle telecomunicazioni.

Programma

Significato e finalità del controllo automatico. Parti componenti fondamentali. Controllo a catena aperta e a retroazione: struttura, proprietà e specifiche; significato ed effetti della retroazione.

Modelli di sistemi dinamici. Tipi di modelli: classificazione, metodi per la loro determinazione. Elementi di teoria dei sistemi a stato vettore e tempo continuo: concetto di stato; rappresentazioni ingresso-stato-uscita e ingresso-uscita. Rappresentazioni mediante le trasformate di Laplace: funzioni di trasferimento. Proprietà fondamentali dei modelli di sistemi dinamici: linearità, controllabilità e osservabilità, stazionarietà; equivalenza e rappresentazioni canoniche. Stabilità: definizioni; condizioni per sistemi lineari e stazionari; metodi per la sua determinazione: metodo di Routh-Hurwitz.

Analisi e sintesi del dominio dei tempi. Risposte impulsive, a gradino, a rampa. Loro dipendenza dal guadagno di maglia e dalla disposizione dei poli. Guadagno e precisione a regime: controllo integrale. Poli dominanti. Effetto del guadagno sulla posizione dei poli:

metodo del luogo delle radici. Parametri caratteristici della risposta a gradino: sistemi del secondo ordine senza zeri; estensione a sistemi con struttura più complessa. Specifiche del dominio dei tempi: loro relazione col guadagno e con la posizione dei poli. Tipi di controllori e metodi di progetto. Progetto sul luogo delle radici. Progetto analitico. Progetto per assegnamento dei poli; assegnamento attraverso osservatori dello stato. Confronto fra proprietà e limiti dei diversi metodi: loro uso combinato.

Analisi e sintesi del dominio delle frequenze. Risposta armonica e suo significato: teorema della risposta armonica. Rappresentazioni della risposta armonica: diagrammi logaritmici e polari. Criterio di Nyquist e margini di stabilità. Identificazione della risposta armonica. Specifiche nel dominio delle frequenze: relazioni fra specifiche sulla risposta armonica di anello e in retroazione; corrispondenza con le specifiche nel dominio dei tempi. Progetto di reti correttive: reti ritardatrici, anticipatrici, a ritardo e anticipo. Regolatori standard: metodi di sintonizzazione. Compensazione tachimetrica. Confronto fra i vari metodi nel dominio dei tempi e delle frequenze.

Controllo a catena aperta. Proprietà e limiti. Compensazione dinamica per progetto analitico. Metodi di compensazione dei disturbi.

Sistemi di controllo non lineari. Non linearità e linearizzazione: cenno ai metodi di linearizzazione. Procedimenti di sintesi in presenza di modelli non linearizzabili. Metodi di verifica della stabilità di sistemi non lineari: metodo di Popov. Sistemi a relè: caratteristiche del funzionamento; oscillazioni di rilassamento; determinazione qualitativa della risposta. Cicli limite: Metodo della funzione descrittiva.

Esempi e componenti. Amplificatori: proprietà funzionali; amplificatori operazionali. Modelli di circuiti elettronici: oscillatori e filtri. Modelli matematici di componenti elettromeccanici: motori a collettore. Azionamenti: descrizione elementare delle parti componenti: motori in c.c. e c.a.; componenti e circuiti per l'amplificazione di potenza; trasduttori di posizione e di velocità.

Testi consigliati:

- G. MARRO, *Teoria dei sistemi e del controllo*, Zanichelli, Bologna, 1989.
 S. RINALDI, *Teoria dei Sistemi*, CLUP, Milano, 1977.
 G. MARRO, *Controlli automatici*, Zanichelli, Bologna, 1992.
 A. LEPSCHY, U. VIARO, *Guida allo studio dei controlli automatici*, Pàtron, Bologna, 1983.
 M.E. PENATI, G. BERTONI, *I sistemi di controllo: modellistica e tecnologia*, Zanichelli, Bologna, 1989.
 G. CAPITANI, M. TIBALDI, *Elementi di analisi di sistemi dinamici multivariabili*, Pitagora, Bologna, 1994.

Appunti integrativi forniti dal docente.

Esame: orale, con uso facoltativo del calcolatore; in alternativa al calcolatore, prova scritta preliminare.

Esercitazioni: in aula, con uso del calcolatore; facoltative, al calcolatore.

Propedeuticità consigliate: Analisi matematica I e II.

3694

CONTROLLI AUTOMATICI IDocente: **Giovanni Bertoni** prof. ord.*Finalità del corso*

Le finalità del corso sono le seguenti:

- presentare i fondamenti della teoria del controllo e, in particolare, le tecniche di analisi e sintesi sulle quali si basa la progettazione dei sistemi di controllo di retroazione di tipo SISO
- presentare i più importanti componenti dei sistemi di controllo e le loro modalità di funzionamento in regime dinamico.

Programma

Generalità: Cenni storici. Che cos'è l'automazione. Esempi di controlli automatici.

Modelli matematici: Tecniche di identificazione. Modelli matematici dei sistemi lineari e stazionari: equazioni (e sistemi di equazioni) differenziali, la funzione di trasferimento, la funzione di risposta impulsiva, integrali di convoluzione.

Analisi nel dominio dei tempi: Sistemi del primo e del secondo ordine.

La funzione di risposta armonica: Definizione e sue rappresentazioni: diagrammi polari, diagrammi di Bode. La formula di Bode.

Analisi armonica: Criteri di stabilità: Routh e Nyquist. Errori a regime. Margini di ampiezza e di fase. Luoghi a M e a N costante: picco di risonanza e larghezza di banda.

Il metodo del luogo delle radici. Regole di costruzione. Proprietà. Esempi.

Sintesi nel dominio delle frequenze: Reti correttive di tipo anticipo, ritardo, anticipo-ritardo. Regolatori standard. Retroazione tachimetrica.

Sistemi di retroazione non lineari: La funzione descrittiva. Il criterio del cerchio e di Popov.

Componenti dei sistemi di controllo: motori elettrici in c.c. e in c.a. Amplificatori di potenza e convertitori statici. Trasduttori.

Esame: prova scritta e orale.

Esercitazioni: sono inserite nello svolgimento della parte teorica cui si riferiscono.

Propedeuticità consigliate: Teoria dei sistemi, Elettrotecnica.

Testi consigliati:

- 1) G. MARRO, *Controlli automatici*, Zanichelli, Bologna, 1987.
- 2) G. BERTONI, M.E. PENATI, *I sistemi di controllo*, Zanichelli, Bologna, 1989.
- 3) M.E. PENATI, *Controlli automatici*, Ed. Esculapio, Progetto Leonardo, Bologna, 1991.

3695

CONTROLLI AUTOMATICI IIDocente: **Marco Tibaldi** prof. ass.*Finalità del corso:*

Il corso tratta gli aspetti fondamentali del controllo ottimo. Il problema del progetto di dispositivi di controllo per sistemi dinamici a più ingressi e più uscite (*MIMO*) 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) 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.a) 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.
 - 2.b) Il metodo dell'assegnamento dei poli per la soluzione del problema dell'osservatore deterministico. Condizionamento numerico di una trasformazione. Indici di controllabilità e di ricostruibilità. Rappresentazioni particolari rispetto agli ingressi e rispetto alle uscite.
 - 2.c) Il problema della stima asintotica dello stato in ambiente deterministico. Dispositivi osservatori. Proprietà di un sistema dinamico chiuso in retroazione tramite un suo dispositivo osservatore. Regolazione con retroazione delle misure.
 - 2.d) 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-shaped*.
 - 2.e) Dispositivi di controllo di ordine dinamico limitato. Riduzione dell'ordine dinamico di un modello matematico. *Spillovers* e compensazione statica.
- 3) Controllo di strutture meccaniche flessibili. Modelli a parametri distribuiti. Co-localizzazione di sensori e attuatori. Controllo delle sospensioni di veicoli su gomma.
- 4) Cenni sul controllo di sistemi con modello a tempo discreto e sulla realizzazione a tempo discreto di dispositivi di controllo per sistemi con modello a tempo continuo.

*Testi consigliati:*M. TIBALDI, *Progetto di sistemi di controllo*, Pitagora, Bologna, 1995.M. TIBALDI, *Note introduttive a MATLAB*, Esculapio Progetto Leonardo, Bologna, 1995.M. TIBALDI, *Problemi di controllo*, Esculapio Progetto Leonardo, Bologna, 1995.

L'*esame* consiste in una prova scritta e una orale.

Le *esercitazioni* sono inserite senza soluzione di continuità nello svolgimento della parte teorica cui si riferiscono.

Propedeuticità consigliate: nozioni elementari di Analisi dei sistemi e Teoria del controllo.

Tesi di laurea: l'analisi di sistemi dinamici e progetto di dispositivi di controllo.

4126

CONTROLLO DEI PROCESSI

Docente: **Claudio Bonivento** prof. ord.

Finalità del corso:

Il corso 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 analogico-digitale. Il corso 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 del corso, 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.

Programma

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 micropro-

cessori: 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 MICOSS*, Pitagora ed., Bologna, 1990.

Lo svolgimento della prova di *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).

Le *esercitazioni* sono 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.

Indirizzo delle *Tesi di Laurea*:

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.

251

ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE

Docente: **Mariolina Longo** ricerc. (inc.) (Inform. A-K)

Alessandro Grandi prof. ass. (Informaz. L-Z)

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 gli elementi fondamentali dell'analisi microeconomica e i principali strumenti economico-finanziari per l'analisi dei fenomeni e per le decisioni, si tratteranno i seguenti argomenti di natura gestionale: il posizionamento competitivo, la formulazione delle strategie, il ruolo delle variabili organizzative, le principali decisioni inerenti le attività di ricerca e sviluppo, marketing, produzione e gestione dei materiali.

Programma

Il corso si articola nelle seguenti parti:

1. Analisi microeconomica e di settore

Microeconomia e macroeconomia. il funzionamento dell'economia di mercato e le strutture di mercato. L'impresa nell'economia aziendale. Il settore industriale, definizione e individuazione delle principali caratteristiche. Uno schema operativo di analisi della concorrenza e di settore.

2. I modelli di analisi e valutazione economico-finanziari

Il bilancio dell'impresa (stato patrimoniale e conto economico). Criteri di riclassificazione dei dati di bilancio. Costruzione di indici per interpretare le situazioni economica, finanziaria e patrimoniale dell'impresa. I costi: calcolo ed utilizzazione per le decisioni. Il punto di pareggio e il margine lordo di contribuzione. Introduzione al budget e al controllo di gestione. Equivalenza finanziarie, attualizzazione e capitalizzazione. Modelli per l'analisi e la valutazione degli investimenti.

3. Le decisioni gestionali

Catena del valore, vantaggio competitivo e strategia aziendale. Le strategie competitive di base. La segmentazione del mercato e il posizionamento dell'impresa. Le variabili economiche del sistema produttivo e della gestione dei materiali. La commercializzazione del prodotto e la definizione del marketing mix (prodotto, prezzo, comunicazione, distribuzione). L'organizzazione aziendale. Le variabili e le scelte di progettazione organizzativa. le principali configurazioni organizzative.

Testi consigliati:

L. BRUSA, *L'amministrazione e il controllo*, Etaslibri, Milano 1994.

L. BRUSA, *Strutture organizzative d'impresa*, Giuffrè, Milano 1986 (esclusi capp. 5 e 7).

G. DONNA, *L'impresa competitiva*, Giuffrè, Milano 1992.

R.A. BREALEY, S.C. MYERS, *Finanza aziendale*, McGraw Hill, Milano 1993 (capp. 2-3-5-6).

M. RISPOLI, *L'impresa industriale*, Il Mulino, Bologna 1989 (capp. 4-7).

Per la preparazione della prova scritta utili riferimenti con esercizi svolti sono in:

G. AZZONE, *Economia e organizzazione aziendale: esercizi*, Città Studi, 3^a ed., Milano 1992 (esclusi gli esercizi nn. 1.7 - 1.8 - 1.14 - 1.20 - 2.4 - 2.8 - 2.13 dal 3.13 alla fine).

Una raccolta dei testi delle prove scritte assegnate negli ultimi appelli è disponibile presso il centro riproduzione della Facoltà.

Modalità d'esame

L'esame prevede una prova scritta (esercizio/i sulla seconda parte del programma) e una prova orale. Il superamento della prova scritta consente di accedere ad una delle prove orali della medesima sessione d'esami o di quella successiva. Sia la prova scritta che la prova orale possono essere ripetute nella medesima sessione d'esami, nel caso della prova scritta rinunciando all'eventuale risultato positivo già conseguito, nel caso della prova orale ripeténdo anche la prova scritta.

11134

ELABORAZIONE DI DATI E SEGNALI BIOMEDICI

Docente: **Mauro Ursino** ricerc. (inc.)

Il corso 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 del corso 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. L'ultima parte, infine, estende alcuni dei metodi precedenti alla elaborazione di immagini.

Programma

i) *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).

ii) *Il progetto dei filtri numerici.* Definizione delle specifiche del filtro. Caratteristiche dei filtri IIR: i filtri di Butterworth, Chebyshev e ellittici. Il progetto dei filtri IIR con il metodo dell'invarianza all'impulso e con la trasformazione bilineare. Caratteristiche dei filtri FIR e loro progetto con il metodo della finestrazione. 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.

iii) *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: impedenza di ingresso aortica, cinetica del glucosio e/o dell'urea.

iv) *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. Algoritmi per la stima autoregressiva: le equazioni di Yule-Walker. Valutazione di spettri di potenza su segnali di variabilità cardiovascolare e su elettromiogramma.

v) *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.

vi) *Reti neurali.* L'uso di reti neurali in problemi di riconoscimento di configurazioni. Principali caratteristiche delle retineurali. Le reti di Hopfield: energia della rete e valutazione delle configurazioni di equilibrio. La rete di Hopfield come modello di memoria associativa. Il perceptrone e le reti multi strato. L'algoritmo diback-propagation. Esempi di

applicazioni delle reti multi strato: predizioni di serie temporali, classificazione. Cenni alle reti competitive.

viii) *Acquisizione e elaborazione di immagini*. Esempi di sistemi per l'acquisizione e la digitalizzazione di immagini. Risoluzione spaziale e di profondità. Istogramma di immagine e sua ottimizzazione. Filtraggio di immagine. Erosione e dilatazione. Metodi di ricostruzione 3D. Calcolo di campi di velocità.

Esercitazioni il corso 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.

10406

ELABORAZIONE OTTICA DEI SEGNALI

Docente: **Paolo Bassi** prof. ass.

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 ottica dei segnali.

Programma del corso

1. Propagazione in mezzi anisotropi: equazioni costitutive e tensori descrittivi le proprietà caratteristiche dei mezzi, soluzione delle equazioni di Maxwell in un mezzo anisotropo infinitamente esteso.
2. Propagazione guidata in mezzi isotropi ed anisotropi: equazioni descrittive del

problema e loro soluzione, guide planari e guide confinate, fibre ottiche. Multiplazione di lunghezza d'onda.

3. Sorgenti: LED e laser, principi di funzionamento. Coerenza di una sorgente.

4. Rivelatori: PIN ed APD: principi di funzionamento.

5. Accoppiamento tra i modi, accoppiatori direzionali e applicazioni. Commutazione ottica.

6. Cenni sui metodi numerici utilizzabili per la determinazione delle configurazioni di campo in strutture guidanti non omogenee.

7. Olografia classica e olografia generata da Computer: applicazioni nell'elaborazione di segnali luminosi.

Modalità di esame: L'esame consiste in una prova orale.

Propedeuticità consigliate: Campi Elettromagnetici, Comunicazioni Elettriche.

Testi consigliati:

H.H. HAYS, *Waves and Fields in Optoelectronics*, Prentice-Hall.

D. MARCUSE, *Light Transmission Optics*, Van Nostrand Reinhold Company.

M. BORN, E. WOLF, *Principles of Optics*, Pergamon Press.

Dispense redatte dal docente.

2438

ELETTRONICA APPLICATA I

Docenti: **Sergio Graffi** prof. ord. (A-K)

Pier Ugo Calzolari prof. ord. (L-Z)

Il corso si propone di fornire le conoscenze di base sul funzionamento dei dispositivi bipolari al silicio (diodi e transistori bipolari) e sui relativi modelli usati nell'analisi dei circuiti elettronici, nonché gli strumenti fondamentali per il progetto dei circuiti stessi, con particolare orientamento verso i circuiti integrati analogici.

La descrizione di particolari circuiti e la deduzione dei relativi criteri di progetto costituiscono esempi di applicazione della teoria e non esauriscono le finalità del corso.

Programma

Componenti dei circuiti elettronici: componenti n-polari, bipoli, n-poli bipoli, doppi bipoli. Bipoli elementari, lineari e non lineari, linearizzazione delle relazioni costitutive, bipoli equivalenti per i piccoli segnali. Il simulatore di circuiti SPICE. Circuiti equivalenti per i piccoli segnali. Definizione e utilizzazione di diverse matrici. Funzioni di rete.

Conduttori, isolanti, semiconduttori. Mobilità. Proprietà fisiche del silicio. Modello di legame, cenno al modello delle bande di energia. Elettroni e lacune, generazione e ricom-

binazione. Semiconduttori intrinseci e drogati. Equazioni del trasporto, di continuità e di Poisson. Pseudopotenziali di Fermi, relazione di Einstein. Esempi di applicazione in casi particolari (semiconduttore intrinseco, drogaggio uniforme, equilibrio, neutralità elettrica ...).

Analisi elementare della giunzione p-n: modello piano, barriera di potenziale in equilibrio. Giunzione a gradino: calcolo del campo elettrico alla giunzione metallurgica e dell'ampiezza della regione di carica in equilibrio. Polarizzazione diretta: calcolo della caratteristica I(V) nell'ipotesi di piccole iniezioni. Polarizzazione inversa. Capacità differenziale della giunzione in polarizzazione diretta e in polarizzazione inversa. Caratteristiche reali, effetti della temperatura, modello di SPICE.

Applicazioni dei diodi nei circuiti: raddrizzatori, circuiti logici a diodi, commutazione e tempo di immagazzinamento; cenno agli alimentatori, ai varactors, ai diodi Zener, alle giunzioni di isolamento; circuiti clamper, circuiti limitatori.

Cenni sulla struttura fisica del transistor bipolare, modello piano, elementi di teoria del trasporto di corrente in base, deduzione delle equazioni di Ebers e Moll. Caratteristiche statiche nella descrizione come doppio bipolo con base comune e con emettitore comune; effetti della temperatura. Effetto Early. Regioni di interdizione, normale, inversa, di saturazione, definizione e calcolo di V_{cesat} . Circuito equivalente e pigreco ibrido. Cenni sulla tecnologia dei circuiti integrati bipolari.

Concessione a diodo, specchi di corrente, generatori di corrente, connessione di Darlington, coppia differenziale. Definizione di amplificatore, stadi amplificatori elementari, carichi attivi, amplificatori per piccoli segnali a più stadi, stadi differenziali. La retroazione nei circuiti lineari, retroazione interna nei doppi bipoli, unilaterali. Richiami e complementi sull'analisi della stabilità di uno stato di riposo. Amplificatori operazionali integrati: struttura, proprietà e principali applicazioni.

Resistori anomali a resistenza differenziale negativa e loro applicazioni. Oscillatori quasi-sinusoidali, oscillatori di rilassamento. Multivibratori astabili, monostabili, bistabili.

Testi consigliati:

P.U. CALZOLARI, S. GRAFFI, *Elementi di Elettronica*, Zanichelli.

P.U. CALZOLARI, S. GRAFFI, *100 esercizi di Elettronica applicata*, Esculapio, Progetto Leonardo.

P.R. GRAY, R.G. MEYER, *Circuiti integrati analogici*, McGraw-Hill.

E. DE CASTRO, *Teoria dei dispositivi a semiconduttore*, Patron.

K.D. LEAVER, *Microelectronic devices*, Longman.

R.S. MULLER, T.I. KAMINS, *Device Electronics for Integrated Circuits*, Wiley.

R.S. MULLER, T.I. KAMINS, *Dispositivi elettronici nei circuiti integrati*, Boringhieri.

A.S. GROVE, *Physics and Technology of Semiconductor Devices*, Wiley.

A.S. GROVE, *Fisica e tecnologia dei dispositivi a semiconduttore*, Franco Angeli.

SPICE2G User's Guide, C.L.U.P.

P.W. TUINENGA, *SPICE, A Guide to Circuit Simulation and Analysis Using PSpice*, Prentice Hall.

W. BANZHAF, *Computer Aided Circuit Analysis Using Spice*, Prentice Hall.

G. MASSOBRIO, *Modelli dei dispositivi a semiconduttore in SPICE*, Franco Angeli.

Propedeuticità consigliate: Complementi di matematiche, Elettrotecnica I.

Le *esercitazioni* si svolgono in aula e consistono nella risoluzione di esercizi e nella illustrazione di complementi che fanno parte del programma.

È possibile, durante e dopo il corso, esercitarsi nell'analisi automatica di circuiti, con il programma SPICE, su personal computer e su VAX.

L'*esame* è composto da una prova scritta, con possibilità di esclusione dell'orale, e da una prova orale.

5809

ELETTRONICA APPLICATA II

Docenti: **Bruno Riccò** prof. ord. (A-K)

Guido Masetti prof. ord. (L-Z)

Il Corso si propone lo studio dei circuiti elettronici digitali. Rappresenta la naturale prosecuzione di Elettronica applicata I e la base per tutti i corsi 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, I²L): 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; flip-flop; 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, E²PROM). 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*, Znicelli.
 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.

E' possibile, durante e dopo il corso, esercitarsi nell'analisi automatica di circuiti, con il programma SPICE, su personal computer e sui MicroVax.

Propedeuticità consigliate: Per seguire con profitto il corso si ritiene indispensabile aver frequentato Elettronica applicata I.

10907

ELETRONICA DEI SISTEMI DIGITALI

Docente: **Giorgio Baccarani** prof. ord.

Finalità del corso

Il corso 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. Il corso 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 del corso

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 C²MOS, 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 «Digital Signal Processors» (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.

8862

ELETTRONICA DELLO STATO SOLIDO (ind. Microelettronica)

Docente: **Massimo Rudan** prof. straord. (inc.)

Il corso sviluppa la teoria fisico-matematica necessaria alla descrizione del funzionamento dei dispositivi a stato solido. Vengono introdotti i concetti fondamentali della mec-

canica quantistica e del trasporto nei solidi, cui fa seguito la trattazione dei più importanti dispositivi elementari. Il corso può essere considerato come base culturale a sé stante oppure, coordinato coi corsi di Elettronica applicata III, Microelettronica e Chimica fisica, 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.

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-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 dei portatori in un cristallo. Tensore di massa.

Teorema di Liouville 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*

Il corso 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 consigliati:

- E. DE CASTRO, *Fondamenti di elettronica - Fisica elettronica ed elementi di teoria dei dispositivi*, UTET, 1975.
 E. DE CASTRO, *Teoria dei dispositivi a semiconduttori*, Patron, 1983.
 G. BACCARANI, *Dispositivi MOS*, Patron, 1982.
 D.A. NEAMEN, *Semiconductor Physics and Devices*, Irwin, 1992.
 P. KIRÉEV, *La Physique des Semiconducteurs*, MIR, 1975.
 N.W. ASHCROFT, N.D. MERMIN, *Solid State Physics*, Saunders, 1976.
 Testi generali di Meccanica quantistica: L. LANDAU, E. LIFCHITZ, *Mécanique quantique*, MIR, 1974; A. MESSIAH, *Mécanique quantique*, Dunod, 1969.
 Su alcuni argomenti sono disponibili fotocopie di appunti e trasparenti.

2037

ELETRONICA INDUSTRIALEDocente: **Fabio Filicori** prof. straord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica)

8082

ELETTROTECNICADocenti: **Filippo Ciampolini** prof. ord. (A-D)**Paolo R. Ghigi** prof. ord. (E-O)**Maria Martelli** prof. ass. (P-Z)

Il corso ha carattere essenzialmente formativo, anche se in esso si trattano taluni argomenti di interesse tecnico.

La materia del corso è suddivisa in tre capitoli: Elettromagnetismo, Circuiti, Macchine Elettriche.

Elettromagnetismo: Equazioni fondamentali - Elettrostatica: definizioni ed equazioni, regime elettrostatico dei conduttori, campo all'esterno dei conduttori, schermi elettrostatici, condensatori - Elettromagnetismo stazionario: definizioni ed equazioni, circuiti magnetici ad elevata permeabilità, circuiti magnetici in presenza di simmetrie, ricerca del campo magnetico nel caso generale, potenziale vettore, magneti permanenti - Elettromagnetismo quasi-stazionario e non stazionario: ipotesi di quasi stazionarietà, concentrabilità dei parametri, leggi di Ohm e di Kirchhoff, potenziali ritardati.

Circuiti: Proprietà e definizioni - Variabili descrittive dei componenti, equazioni dei componenti e di collegamento - Potenza ed energia - Passività, reciprocità e simmetria - I

componenti elementari, generatori ideali e reali di tensione e di corrente, generatori pilotati - Reti a parametri concentrati lineari e non, permanenti e non: metodi di analisi su base nodi e su base maglie, teorema di Tellegen, teorema di Thèvenin, teorema di Norton, teorema di Millman - Applicazione della trasformata di Laplace all'analisi delle reti - Funzioni di rete - Cenni sulla stabilità delle reti - Analisi del regime sinusoidale - Analisi della risposta di reti stabili a diversi tipi di ingresso - Sistemi trifase.

Macchine Elettriche: Il trasformatore - Elettrodinamica dei mezzi in movimento (cenni) - Metodologie generali per lo studio dei circuiti elettrici in movimento in corrente continua ed in corrente alternata - Applicazione alle macchine reali: macchine asincrone, macchine sincrone, macchine a collettore - Introduzione agli aspetti tecnici ed all'impiego delle macchine elettriche.

Testi consigliati:

- F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, ed. Pitagora, Bologna.
 F. CIAMPOLINI, R. TRIOLI, *Macchine Elettriche*, ed. Calderini, Bologna.
 C. DESOER, S. KUH, *Fondamenti di teoria delle Reti Elettriche*, ed. Angeli, Milano.
 G. MARTINELLI, M. SALERNO, *Fondamenti di Elettrotecnica*, ed. Siderea, Roma.
 P. GHIGI, *Lezioni di elettrotecnica*, Esculapio, Progetto Leonardo, Bologna, 1992.
 M. MARTELLI, Dispense redatte a cura del Docente.

1369

FISICA I

Docenti: **Alessandro Gandolfi** prof. ass. (A-D, Elettrici)
Arnaldo Uguzzoni prof. ord. (E-O)
Ettore Verondini prof. ord. (P-Z, Chimici)

Il corso si propone di dare agli studenti le basi essenziali per la comprensione della metodologia e delle finalità della fisica, attraverso un quadro dei concetti e dei principi della meccanica classica e della termodinamica.

Programma

1) *Elementi di calcolo vettoriale*

2) *Cinematica*

Generalità sul moto, sistema di riferimento. Velocità e accelerazione di un punto materiale: componenti cartesiane e componenti intrinseche. Moti piani, moti centrali, moto dei pianeti. Elementi di cinematica dei corpi rigidi: moti di traslazione, rotazione, rototraslazione. Cinematica dei moti relativi. Leggi di trasformazione delle velocità e delle accelerazioni.

3) *Dinamica*

Concetto di forza. I principi della dinamica. Riferimenti inerziali. Realtività galileiana. Riferimenti non inerziali e forze di inerzia. Lavoro ed energia. Forze conservative e conservazione dell'energia meccanica. Campo gravitazionale. Elementi di dinamica dei sistemi. Centro di massa e sue proprietà. Momenti di inerzia e moti di rotazione dei corpi rigidi.

4) *Termodinamica*

Equilibrio termico e concetto di temperatura. Equilibrio termodinamico. Equazioni di stato. Sistemi PVT. Lavoro termodinamico. Trasformazioni quasi-statiche. Lavoro adiabatico ed energia interna. Calore e primo principio della termodinamica. Capacità termica e calori specifici. Proprietà termiche dei gas. I gas ideali. Macchine termiche frigorifere. Il secondo principio della termodinamica. Reversibilità e irreversibilità. Cicli di Carnot e teoremi relativi. Temperatura Kelvin. Teorema di Clausius e entropia. Principio dell'aumento dell'entropia; entropia ed energia non utilizzabile.

Testi consigliati:

S. ROSATI, *Fisica generale I*, CEA, Milano.

S. FOCARDI, I. MASSA, A. UGUZZONI, *Fisica I*, Ed. Pitagora.

MAZZOLDI, NIGRO, VOCI, *Fisica*, SES.

P. VERONESI, E. FUSCHINI, *Fondamenti di Meccanica classica*, Ed. Coop. Libreria Universitaria Editrice Bologna.

ZEMANSKY, ABBOT, NESS, *Fondamenti di Termodinamica per Ingegneri*, Ed. Zanichelli.

M. ALONSO, E.J. FINN, *Elementi di Fisica per l'Università vol. 1*, Ed. Addison-Wesley.

M. BRUNO, M. D'AGOSTINO, M.L. FIANDRI, *Esercizi di Fisica I*, Ed. Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna, 1992.

S. FOCARDI, *Problemi di Fisica generale I*, Casa Editrice Ambrosiana (CEA), Milano, 1982.

Esame: Una prova scritta ed una prova orale.

1372

FISICA II

Docenti: **Franco Saporetti** prof. ass. (A-D, Elettrici)

Franco Malaguti prof. ass. (E-O)

Cesare Moroni prof. ord. (P-Z, Chimici)

Finalità del corso:

Due sono essenzialmente gli scopi che il Corso si propone:

1. Familiarizzare lo studente con le idee e i concetti fondamentali dell'Elettromagnetismo e dell'Ottica, 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 il Corso viene a costituire una premessa ai Corsi 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.

Il Corso 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.

Propedeuticità consigliate: Per sostenere l'esame è necessario aver superato l'esame di Fisica I.

6798

FISICA TECNICA

Docenti: **Valerio Tarabusi** prof. ass. (A-D)

Giorgio Pagliarini prof. ass. (E-O)

Antonio Dumas prof. ass. (P-Z)

Finalità del corso:

Il corso si propone di fornire le nozioni di base per l'analisi energetica dei sistemi, sia attraverso lo studio dei processi di conversione tra le diverse forme di energia (termica, meccanica, elettrica ...), sia fornendo gli elementi fondamentali sui meccanismi di scambio termico e sulla meccanica dei fluidi.

Programma

Termodinamica

Termodinamica generale — Richiami sui sistemi di unità di misura — Generalità e definizioni — Primo principio della termodinamica e proprietà energia — Secondo principio della termodinamica e proprietà entropia — Teorema dell'aumento della entropia — Effetti termoelettrici: effetto Seebeck, Peltier, Thomson, Joule, Fourier — Relazioni esistenti tra i diversi effetti termoelettrici.

Sistemi semplici monocomponenti — Superfici p, v, T e diagramma termodinamico p, v — Gas perfetti — Proprietà e trasformazioni dei gas perfetti — Proprietà dei liquidi — Proprietà e trasformazioni dei vapori saturi e surriscaldati — Diagrammi termodinamici $(T, s), (h, s)$.

Sistemi semplici multicomponenti — Generalità — Proprietà delle miscele di gas perfetti.

Termodinamica dei sistemi aperti — Definizioni — Equazioni di bilancio di massa, di energia, di entropia — Bilancio della energia meccanica — Cicli termodinamici: ciclo Rankine, ciclo frigorifero.

Fluidodinamica

Meccanica dei fluidi — Aspetti fisici del moto di un fluido — Viscosità — Moto laminare e moto turbolento — Strato limite dinamico — Equazioni fondamentali del moto isoterma — Alcune soluzioni per regime laminare — Analisi dimensionale — Onde acustiche: trattazione matematica.

Moto dei fluidi in condotti — Equazioni integrali — Perdite di carico — Condotte nelle quali sono inserite macchine — Misure di velocità e di portata.

Termocinetica

Conduzione — Legge di Fourier — Equazione di Fourier — Conduzione stazionaria — Conduzione in regime variabile: cenni — Conduzione con generazione di calore — Conduzione in mezzi anisotropi: cenni — Analogia elettrica.

Convezione — Equazioni fondamentali del moto non isoterma — Analisi dimensionale — Similitudine — Strato limite termico — Convezione forzata — Convezione naturale e mista.

Irraggiamento termico — Generalità e definizioni — Leggi dell'irraggiamento — Fattori di forma e loro proprietà — Applicazioni relative al mutuo scambio radiativo tra i corpi neri o grigi.

Contemporanea presenza di diverse modalità di scambio — Generalità — Convezione ed irraggiamento — Coefficiente globale di scambio termico — Superfici alettate — Scambiatori di calore.

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.

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 tre temi distinti e relativi alla Termodinamica, alla

Termocinetica e alla Fluidodinamica: i temi possono essere sia di carattere strettamente teorico sia applicativo con riferimento alle applicazioni illustrate durante le esercitazioni.

Sono disponibili *tesi di laurea* sia di carattere teorico che sperimentale nei settori culturali interessanti la Fluidodinamica e la Termocinetica.

7945

FONDAMENTI DI INFORMATICA I

Docenti: **Antonio Natali** prof. ord. (A-D)

Maria Rita Scalas prof. ass. (E-O)

Evelina Lamma prof. ass. (P-Z)

Obiettivi del corso

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 e 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 e loro classificazione secondo Chomsky. Cenni sulla struttura di compilatori ed interpreti di 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 in cui saranno indicati altri riferimenti bibliografici.

7946

FONDAMENTI DI INFORMATICA IIDocenti: **Antonio Corradi** ricerc. (inc.) (A-K)**Giuseppe Bellavia** ricerc. (inc.) (L-Z)

Il corso intende fornire una comprensione sistemistica delle capacità di esecuzione di un sistema di calcolo, in particolare dei passi di sviluppo di un programma e della sua esecuzione, anche in termini di performance.

Inoltre, la seconda parte del corso esamina le linee di tendenza degli ambienti di programmazione esistenti.

Programma

- Richiami sul progetto di Algoritmi e Strutture dati
- *Architettura di un sistema di calcolo*
 - 1) Elementi funzionali di base
 - unità centrale di elaborazione, memoria centrale, memoria di massa, unità di ingresso/uscita.
 - 2) *Programmazione in Linguaggio Assembler*
 - programmi assoluti/rilocabili
 - ricorsione e rientranza
 - segmentazione e modularità
 - gestione degli eventi asincroni
 - progettazione di programmi Assembler
 - strumenti di sviluppo e controllo della esecuzione.
- *Organizzazione dell'ambiente di esecuzione dei programmi*

Concetti elementari di un sistema operativo. L'accento è posto su ambienti monoutente e multiutente: MS-DOS e UNIX. Proprietà e caratteristiche del file system e la struttura di questo.

Modello di programma in esecuzione sulla macchina virtuale costituita dal sistema operativo. Organizzazione del supporto a tempo di esecuzione per un programma.
- *Ambienti e strumenti di Programmazione*
 - 1) Processori Comandi - Interpreti
 - Definizione delle caratteristiche di un processore comandi e dell'ambiente relativo: caso MS-DOS e shell di UNIX.
 - Riusabilità e rapido sviluppo in ambiente UNIX.
 - 2) Linguaggi di Programmazione - Compilatori
 - Strumenti di supporto alla traduzione ed alla esecuzione dei programmi.
 - Modalità di utilizzo delle funzioni del sistema operativo da diversi linguaggi di programmazione di alto livello. Relazione tra linguaggi di programmazione di alto livello e sistema operativo.
 - 3) Ambienti orientati all'utente
 - Ambienti di programmazione, quali ad esempio i fogli elettronici, interfacce grafiche e basi di dati.

Il corso mira a fare ottenere una buona conoscenza strumentale di alcuni ambienti e sistemi operativi:

- MS-DOS;
 - UNIX;
- e linguaggi di programmazione compilativi e interpretati:
- Assembler
 - Processori comandi e Shell di UNIX
 - C.

Testi consigliati:

- G. BELLAVIA, A. CORRADI, L. LEONARDI, *Dispense di Fondamenti di Informatica II*, Esculapio, Progetto Leonardo, 1993.
- B.W. KERNIGHAM, D.M. RITCHE, *Il linguaggio C*, Jackson, 1985 (anche nuova edizione, C ANSI, 1990).
- N. GEHANI, *Advanced C.: Food for the Educated Palate*, Computer Science Press, 1985.
- B.W. KERNIGHAN, R. PIKE, *UNIX*, Zanichelli, 1989.
- S.R. BOURNE, *UNIX System V*, Addison-Wesley, 1990.
- H.S. STONE (ed.), *Introduction to Computer Architecture*, SRA inc., 1980.

Lucidi dei docenti.

Esami: Consistono in una prova scritta, una prova pratica ed una prova orale. È di fondamentale importanza una buona conoscenza strumentale degli ambienti operativi proposte nel Corso.

9757

GEOMETRIA E ALGEBRA

Docenti: **Massimo Ferri** prof. ord. (A-D, Elettrici)
Anna Luisa Gilotti prof. ass. (E-O, Nucleari)
Luigi Pezzoli prof. ass. (P-Z, Chimici)

Finalità del corso

Lo scopo del corso è essenzialmente formativo: gli strumenti usati per raggiungere tale scopo sono quelli che si ritengono atti a fornire al futuro ingegnere una solida base algebrica e geometrica per i suoi studi successivi.

Programma

Elementi di algebra: operazioni su insiemi; strutture algebriche; gruppi, anelli, corpi, e campi — Spazi vettoriali — Matrici — Spazi proiettivi e affini. Dipendenza lineare e affine — Basi, riferimenti e dimensioni — Determinante di una matrice quadrata — Omomorfi-

smi fra spazi vettoriali: sistemi lineari — Sottospazi di spazi vettoriali; risoluzione di sistemi lineari non normali — Omomorfismi fra spazi proiettivi e fra spazi affini; Geometrie — Sottospazi di spazi proiettivi e di spazi affini — Relazioni fra le strutture vettoriali, affini e proiettive — Parallelismo negli spazi affini — Spazi euclidei — Omomorfismi fra spazi euclidei — Geometria simile ed euclidea — Angoli, diedri e volumi in uno spazio euclideo — Cenni sulle equazioni algebriche — Autovalori ed autovettori — Applicazioni e forme bilineari — Forme quadratiche — Iperquadriche con particolare riferimento alle coniche e quadriche.

Testi consigliati:

- C. GAGLIARDI, L. GRASELLI, *Algebra lineare. Geometria*, 3 voll., Esculapio, Progetto Leonardo, Bologna.
 L. CAVALIERI D'ORO, L. GUALANDRI, *Esercizi di Algebra e Geometria*, Voll. I e II, Ed. Esculapio, Bologna.
 S. ABEASIS, *Compl. di Algebra lineare e Geometria*, Zanichelli, Bologna.

INGEGNERIA DEL SOFTWARE

Docente: **Evelina Lamma** prof. ass. (inc.)

Obiettivi del corso

Fornire i concetti di base dell'ingegneria del software, descrivendo il processo di sviluppo del software (analisi, specifica, progettazione, testing/debugging, manutenzione, misura). Esaminare, inoltre, tecniche avanzate per il progetto e lo sviluppo di programmi, con particolare riferimento alla programmazione ad oggetti.

Il corso potrà comprendere un progetto di gruppo in cui si affronta un problema fornito da un'azienda o da un'ente esterno.

Propedeuticità consigliate:

Si richiede una buona conoscenza di linguaggi di programmazione imperativi (Pascal e C) e preferibilmente aver frequentato il corso di Linguaggi e Traduttori.

Programma

1. *Il ciclo di vita del software*: aspetti economici, organizzativi e metodologici.
2. *Analisi e Specifica dei requisiti*: modelli e linguaggi di specifica, diagrammi E-R, automi, reti di Petri, definizione dell'interfaccia utente. Sistemi CASE di supporto.
3. *Progettazione*: principi e metodi di progettazione, principi di modularità ed incapsulamento. La progettazione «object-oriented».
4. *Realizzazione*: programmazione, debugging, controllo delle versioni e delle configu-

razioni. Linguaggi di programmazione ad oggetti: il concetto di classe, ereditarietà. Funzionamento a tempo di esecuzione di un programma ad oggetti (alle differenze rispetto a linguaggi imperativi noti). Forme di collegamento ritardate e funzioni virtuali. Costruzione dinamica di oggetti. Ereditarietà semplice e multipla e problemi connessi. Analisi di alcuni strumenti di supporto alla programmazione ad oggetti. Metodi e strumenti per la realizzazione di interfacce uomo-macchina.

5. *Collaudo*: Convalida e verifica, tecniche funzionali e strutturali.

6. *Gestione di un Progetto*: amministrazione del progetto, pianificazione, analisi dei costi, metriche di prodotto e di processo.

Testi consigliati:

C. GHEZZI, A. FUGGETTA, S. MORASCA, A. MORZENTI, M. PEZZÈ, *Ingegneria del Software*, Mondadori Informatica, 1991.

I. SOMMERVILLE, *Software Engineering*, Addison Wesley, 1994.

R. PRESSMAN, *Principi di Ingegneria del Software*, Mc Graw Hill.

B. ECKEL, *Programmare in C++*, Mc Graw Hill.

7158

INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Docente: **Paola Mello** prof. ass. (inc.)

Obiettivi del Corso

Presentare i concetti principali ed i metodi che stanno alla base della progettazione di 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 «mondo reale» 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. Strategie di 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:

Il corso 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.

10408

LINGUAGGI E TRADUTTORIDocente: **Antonio Natali** prof. ord. (inc.)

Scopo del corso: 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.

Propedeuticità: si richiede la conoscenza di almeno un linguaggio di programmazione ad alto livello (Pascal, C) e della architettura di un elaboratore elettronico.

Laboratorio: la parte teorica del corso è strettamente correlata ad una parte pratica, obbligatoria, da svolgersi in laboratorio, nell'ambito anche di progetti mirati concordati col docente.

*Programma**Concetti fondamentali dei linguaggi di programmazione*

Famiglie di linguaggi imperativi, funzionali, logici e a oggetti.

Introduzione alla programmazione ad oggetti e al C⁺⁺. Tipi di dato astratto. Classi e meccanismi di costruzione-distruzione di istanze. Oggetti composti. Ereditarietà semplice e multipla. Polimorfismo. Genericità vincolata e non. Costruzione di componenti software generici mediante template.

Introduzione alla programmazione funzionale e al Lisp. Denotazione e valutazione di espressioni. Rivisitazione critica dei concetti di environment, binding e scope rule. Trasparenza referenziale e assegnamento. Lambda expressions e chiusure. Le macro. Gestione della memoria. Estensione del linguaggio mediante costruzione di meta-interpreti.

Introduzione alla programmazione logica e al Prolog. La risoluzione come regola di inferenza e come processo computazionale. La macchina virtuale Prolog. Interpretazione dichiarativa e procedurale delle clausole Prolog. Meta-predicati e meta-interpreti. Predicati extra-logici.

Descrizione e implementazione dei linguaggi

Grammatiche, classificazione di Chomsky e automi riconoscitori. Analisi lessicale. 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. Supporti a tempo di esecuzione.

Modalità di esame

L'esame consiste in una prova scritta che può essere sostenuta solo dopo una sufficiente e comprovata attività di laboratorio, che può consistere nello sviluppo di progetti mirati concordati col docente.

Testi e manuali

Sono disponibili dispense e appunti a cura del docente nelle quali è riportato un elenco

dettagliato di testi utili. Sono anche disponibili dispense in forma ipertestuale che trattano, in forma seminariale, argomenti specifici approfondibili dallo studente nell'ambito dei progetti mirati, quali HTML, la programmazione a vincoli, la programmazione in ambiente Windows, la programmazione in Java, etc.

1008

MAGNETOFLUIDODINAMICA APPLICATADocente: **Carlo Angelo Borghi** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica)

8073

MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINEDocente: **Vincenzo Parenti Castelli** prof. ord.

La composizione dei meccanismi. Coppie cinematiche. Gradi di libertà delle coppie cinematiche. Catena cinematica e meccanismo. Gradi di libertà di un meccanismo piano e nello spazio. Meccanismi con più di un grado di libertà.

Forze agenti sulle macchine. Definizione di rendimento. Rendimento di macchine disposte in serie e in parallelo. Moto retrogrado. Leggi che governano l'attrito di strisciamento. Applicazione della legge di Coulomb. Il piano inclinato. La coppia rotoidale. La coppia elicoidale. L'usura e l'ipotesi del Reye. Contatto di rotolamento. Perni a strisciamento e perni a rotomaneto: tipi e impiego. Il comportamento delle ruote nella locomozione.

Le coppie cinematiche lubrificate. Teoria elementare della lubrificazione fluidodinamica. Meato limitato da pareti piane. Meato limitato da pareti piane di lunghezza finita. Applicazioni tecniche. Coppia rotoidale lubrificata di lunghezza infinita e cenni al caso di lunghezza finita. Lubrificazione fluidostatica.

I sistemi articolati. Richiami di cinematica del corpo rigido nel piano e nello spazio. Centro di istantanea rotazione. Tracciamento delle traiettorie. Velocità ed accelerazione di un punto della biella nel quadrilatero articolato. Generalità sui sistemi articolari. Coefficienti di velocità e derivate dei coefficienti di velocità. Il quadrilatero articolato piano e le sue applicazioni. Problemi di sintesi. Segmento di biella su due e tre posizioni prefissate. Trasformazione di un moto rotatorio continuo in un moto rotatorio alterno. Trasmissione delle forze nel quadrilatero articolato. Il parallelogrammo articolato. Manovellismo di spinta centrato. La catena cinematica con glifo e croce. Giunto di Oldham. Giunto di Cardano. Manipolatori di robot.

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. Trasmissione del moto fra assi paralleli con ruote di frizione. Tracciamento dei profili coniugati nel piano: metodo dell'involuppo e profili di assortimento. Ruote dentate cilindriche ad evolvente. Linea di contatto e arco d'azione; Rendimento delle ruote dentate cilindriche a denti diritti. Ruote dentate cilindriche a denti elicoidali. Trasmissione del moto fra assi concorrenti con ruote di frizione. Ruote dentate coniche. Cenni sulla trasmissione del moto fra assi sghembi con ruote dentate elicoidali. Coppia vite senza fine-ruota elicoidale.

Rotismi. Rotismi ordinari. Rotismi epicicloidali. Differenziale. Rapporti fra i momenti sterzi agenti su di un rotismo. Cenni sul rendimento dei rotismi epicicloidali.

Organi flessibili. Rigidezza degli organi flessibili. Pulegge fisse e mobili. Paranchi e loro rendimento. Paranco differenziale. Trasmissione del moto fra due alberi con cinghie piatte e trapezoidali. Cenni sul montaggio, sul porzionamento e sul rendimento della trasmissione a cinghie. Freni a nastro.

Richiami di dinamica. Forze di 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.

Velocità critiche degli alberi. Velocità critica di un albero con un unico disco centrale.

Dinamica delle macchine alternative. Equilibrio dinamico di una macchina alternativa. Compensazione delle forze di inerzia. Energia cinetica di una macchina alternativa.

Dinamica del manovellismo di spinta e del quadrilatero articolato. Azioni di inerzia sul manovellismo di spinta e sul quadrilatero articolato.

Dinamica degli impianti funzionanti in condizione di regime periodico. Grado di irregolarità. Calcolo del momento di inerzia del volano. Procedimento grafico-analitico per il calcolo del grado di irregolarità e del volano. Calcolo delle dimensioni principali del volano.

Regolazione della velocità angolare. Generalità. Il regolatore di velocità. Il tachimetro. L'accelerometro. L'attuatore idraulico. Schemi di regolatori.

Esercitazioni: Vengono svolte esercitazioni sui principali argomenti del corso. Alcune di queste, opportunamente segnalate, sono da svolgere e riportare su apposito quaderno da presentare in sede di esame.

Testi consigliati:

- E. FUNAIOLI, A. MAGGIORE, U. MENEGHETTI, *Meccanica applicata alle macchine*, voll. 1 e 2, Ed. Patron, Bologna.
- S. DOUGHTY, *Mechanics of Machines*, John Wiley & Sons, 1988.
- B. PAUL, *Kinematics and dynamics of planar machinery*, Prentice-Hall, 1979.
- H. MABIE, REINHOLTZ C.,

1381

MECCANICA RAZIONALEDocenti: **Pier Paolo Abbati Marescotti** prof. ord. (A-D, Elettrici)**Barbara Lazzari** prof. ass. (E-Q)**Augusto Muracchini** prof. ass. (R-Z, Chimici)

Il corso è dedicato ai sistemi con un numero finito di gradi di libertà; ci si ispira al criterio di procedere ad una graduale generalizzazione degli schemi descrittivi, prendendo le mosse dallo schema newtoniano per i sistemi meccanici e passando successivamente allo schema lagrangiano-hamiltoniano della meccanica generalizzata.

*Programma**Teoria dei vettori applicati*

Momento polare ed assiale di un vettore applicato, sistemi di vettori applicati, trinomio invariante, asse centrale, equivalenza, operazioni elementari, riducibilità, centro dei sistemi di vettori paralleli.

Cinematica del punto e dei sistemi

Generalità sul moto di un punto, velocità ed accelerazione, moti piani in coordinate polari, moti centrali, alcuni esempi di moti del punto (moto circolare, moto armonico, moto dei gravi).

Corpo rigido e condizione di rigidità, velocità angolare, legge di distribuzione delle velocità, classificazione dei moti rigidi, atto di moto, teorema di Mozzi.

Teorema di composizione delle velocità e delle accelerazioni, composizione di atti di moto rigido, rotolamento di curve e superfici rigide.

Moti rigidi piani, centro istantaneo di rotazione, traiettorie polari.

Sistemi vincolati, classificazione dei vincoli, spazio delle configurazioni, spostamenti possibili e virtuali di un sistema olonomo, velocità in un sistema olonomo.

Geometria e cinematica delle masse

Baricentri. Momenti di inerzia, matrice di inerzia, assi principali di inerzia, ellissoide di inerzia.

Rappresentazione della quantità di moto, momento della quantità di moto, energia cinetica.

Lavoro e Potenziale

Concetto di forza, lavoro di una forza, forza conservativa e potenziale, sistemi di forze.

Dinamica del punto e dei sistemi

Sistemi di riferimento, principio di inerzia, principio di azione e reazione, principio delle reazioni vincolari, equazione fondamentale della meccanica rispetto ad una terna non galileiana, equazioni cardinali della dinamica, teorema della energia cinetica, integrali primi, equazioni cardinali della statica.

Dinamica del punto materiale libero con esempi (moto di un punto soggetto a forza elastica e resistenza viscosa, oscillazioni forzate, risonanza), dinamica del punto materiale vin-

colato, pendolo semplice, metodo di Weierstrass. Dinamica relativa del punto con esempi.

Dinamica del corpo rigido con esempi (corpo rigido libero, corpo rigido con un punto fisso ed equazioni di Eulero, corpo rigido con un asse fisso, equilibratura dinamica), principio dell'effetto giroscopico, giroscopio pesante, cenni sui moti alla Poinsot.

Sistemi non autonomi e sistemi autonomi, spazio delle fasi, sistemi ad un grado di libertà: piano delle fasi, punti fissi e punti di equilibrio, sistemi conservativi e curve di livello della energia, diagramma di fase con esempi.

Principio dei lavori virtuali

Principio dei lavori virtuali, equilibrio di un sistema olonomo anche in presenza di vincoli unilaterali.

Meccanica analitica

Disuguaglianza variazionale della dinamica, principio di D'Alembert, equazioni di Lagrange, caso delle forze conservative (lagrangiana), potenziale generalizzato, forze giroscopiche, forze dissipative, coordinate cicliche. Equazioni di Hamilton.

Stabilità e piccole oscillazioni

Criteri di stabilità e di instabilità di Ljapunov, teorema di Ljapunov, teorema di Dirichlet, biforcazione dell'equilibrio, piccole oscillazioni, frequenze proprie di oscillazione, coordinate normali.

Testi consigliati:

C. CERCIGNANI, *Spazio, tempo, movimento*, Zanichelli, Bologna.

M. FABRIZIO, *La Meccanica Razionale e i suoi metodi matematici*, Zanichelli, Bologna.

G. GRIOLI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Edizioni Cortina, Padova.

T. LEVI CIVITA, U. AMALDI, *Compendio di Meccanica Razionale*, Zanichelli, Bologna.

A. STRUMIA, *Meccanica Razionale*, C.U.S.L., Bologna.

Per quanto riguarda gli esercizi svolti a lezione e quelli propedeutici alla prova scritta si consiglia:

A. MURACCHINI, T. RUGGERI, L. SECCIA, *Laboratorio di meccanica razionale*, Esculapio, Bologna.

F. BAMPI, M. BENATI, A. MORRO, *Problemi di meccanica razionale*, Ecig-Genova.

L'esame consiste in una prova scritta e in una prova orale.

5702

MICROELETTRONICADocente: **Massimo Rudan** prof. straord.

(per Elettronici, senza scelta di indirizzo, e per l'indirizzo Microelettronica)

Finalità del corso:

Il Corso 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 Corsi 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.

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, litografia 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 simulazione 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 (JFET): 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: fotoresistore, 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 del Corso 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.

Il Corso 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 consigliati:

E. DE CASTRO, *Fondamenti di elettronica - Fisica elettronica ed elementi di teoria dei dispositivi*, UTET, 1975.

E. DE CASTRO, *Teoria dei dispositivi a semiconduttori*, Patron, 1983.

G. BACCARANI, *Dispositivi MOS*, Patron, 1982.

D.A. NEAMEN, *Semiconductor Physics and Devices*, Irwin, 1992.

G. SONCINI, *Tecnologie microelettroniche*, Boringhieri, 1986.

S.M. SZE, *Semiconductor Devices - Physics and Technology*, Wiley, 1985.

W. MALY, *Atlas of IC Technologies: an Introduction to LVTI Processes*, The Benjamin/Cummings Publishing Co., 1987.

Su alcuni argomenti sono disponibili fotocopie di appunti e trasparenti.

2191

MICROONDEDocente: **Alessandra Costanzo** ricerc. (inc.)

Il corso si propone di fornire le conoscenze di base e le metodologie per lo 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. Jhon Willey.

P.H. LADBROOKE, *MMIC Design: GaAs FETs and HEMTS*, Ed. Artech House.

Propedeuticità consigliate: Analisi matematica III, Campi Elettromagnetici I, Eletttronica applicata I.

1386

MISURE ELETTRICHEDocenti: **Mario Rinaldi** prof. ord. (06 A-K)**Domenico Mirri** prof. ass. (06 L-Z)

Il Corso 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 transitori. 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 nei corsi di Elettrotecnica I, Elettronica Applicata I, Elettronica Applicata II, Reti Logiche.

10386

MODELLISTICA DEI SISTEMI ELETTROMECCANICI (Ingegneria Informatica ed Elettronica)

Docente: **Domenico Casadei** prof. ass.

Finalità del Corso

Il Corso si propone di fornire una metodologia per lo studio del comportamento delle macchine elettriche nelle varie condizioni di alimentazione previste negli azionamenti elettrici. Per ogni tipologia di macchina vengono presentati i modelli di studio più appropriati ponendo particolare attenzione alla identificazione dei parametri. Inoltre, per ogni specifica applicazione vengono illustrate le più idonee metodologie di controllo con particolare riferimento agli aspetti energetici.

Programma

1. *Generalità sulle macchine elettriche*

Principi di conversione elettromeccanica. Calcolo di forze e coppie in sistemi lineari e non lineari. Vincoli termici in relazione al ciclo di lavoro.

2. *Macchine a corrente continua*

Modello dinamico delle macchine a collettore. Analisi in regime lineare e non lineare. Alimentazione mediante convertitori AC/DC e DC/DC a uno, due e quattro quadranti. Caratteristiche di funzionamento con controllo del flusso di eccitazione e della tensione di armatura.

3. *Macchine asincrone*

Modelli di macchina in riferimenti stazionari o rotanti. Variazione dei parametri di macchina con la frequenza storica e rotorica. Alimentazione tramite convertitori statici di frequenza a tensione e corrente impressa. Controllo di coppia ottenuto agendo su corrente e frequenza rotorica. Implementazione di algoritmi che consentono il controllo della coppia ai valori istantanei. Impiego delle componenti di corrente e di flusso storico quali variabili di controllo.

4. *Macchine sincrone*

Modello di macchina in un riferimento solidale con il rotore. Induttanze della macchina sincrona anisotropa. Caratteristiche dei motori brushless a f.e.m. trapezia ed a f.e.m. sinusoidale. Metodologie per la realizzazione del controllo vettoriale.

5. *Motori passo*

Motori a magneti permanenti, a riluttanza e ibridi. Caratteristiche dinamiche dei motori passo. Oscillazioni ed instabilità. Autosincronizzazione dei motori passo. Alimentazione unipolare e bipolare.

6. *Motori a riluttanza variabile*

Equazioni di macchina. Tecniche di alimentazione e caratteristiche di funzionamento.

7. *Attuatori lineari*

Attuatori lineari a corrente continua, e corrente alternata. Modelli di studio. Tecniche di alimentazione.

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.

Modalità di esami

L'esame consiste in un' prova orale sugli argomenti svolti nel corso delle lezioni teoriche e delle esercitazioni.

Testi consigliati:

M.E. PENATI, G. BERTONI, *I Sistemi di Controllo, Modellistica e Tecnologia*, Zanichelli Editore, 1989.

A.E. FITZGERALD, C. KINGSLEY Jr., A. KUSKO, *Macchine Elettriche*, Franco Angeli Editore, Milano.

- JOHN M.D. MURPHY, F.G. TURNBULL, *Power Electronic Control of AC Motors*, Pergamon Press, Oxford.
- T. KENJO and S. NAGAMORI, *Permanent-Magnet and Brushless DC Motors*, Clarendon Press, Oxford.
- TAKASHI KENJO, *Stepping motors and their microprocessor controls*, Clarendon Press, Oxford, 1985.

Propedeuticità: Si presuppone la conoscenza degli elementi essenziali del corso di Elettrotecnica e Controlli Automatici I.

11144

PROGETTO DI CIRCUITI A MICROONDE

Docente: **Alessandro Lipparini** prof. ass. (inc.)

Il Corso 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 del corso

Il front-end e i suoi blocchi funzionali fondamentali. Architetture tipiche dei front-end per ricetrasmittitori 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. Modulatore 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.

L'esame consiste in una prova orale.

Le 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.

10389

PROPAGAZIONE

Docente: **Gabriele Falciaesecca** prof. ord.

Obiettivi del corso: fornire gli elementi base per caratterizzare la propagazione in ambiente reale, su portante fisico e su canale hertziano; impostare il problema della ottimizzazione dell'uso dello spettro sia individuando il formato di segnale più adatto alle caratteristiche del canale sia relativamente alla distribuzione delle informazioni sul territorio.

I parte - Propagazione libera in ambiente reale: effetti della terra, della atmosfera, degli ostacoli di vario tipo: modelli di canale. Aleatorietà e tempo-varianza nella propagazione: modelli di canale.

II parte - Adattamento della forma d'onda del segnale al modello di canale considerato: criteri per la scelta dei metodi di modulazione, di accesso e di codifica. Contromisure adattative.

III parte - Metodi per la realizzazione delle coperture nei sistemi d'area (diffusione radio e TV, comunicazioni mobili e personali). Ottimizzazione globale dell'uso dello spettro radioelettrico in tempo, frequenza, spazio.

IV parte - Propagazione nelle guide metalliche e nelle linee di trasmissione reali: modelli di canale. Propagazione in guida dielettrica e in fibra ottica: modelli di canale.

V parte - Esempi di applicazioni: sistemi in fibra ottica, il sistema televisivo, il sistema radiomobile pan europeo GSM, sistemi cordless.

11145

RETI DI CALCOLATORIDocente: **Antonio Corradi** ricerc. (inc.)*Finalità del corso*

Il corso affronta le problematiche introdotte dai sistemi interconnessi, sia nel senso di sistemi distribuiti, sia nel senso di sistemi a parallelismo elevato. 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. Standardizzazione delle soluzioni: ISO/OSI.

Modelli di interazione - Classificazione delle interazioni in sistemi interconnessi: modelli cliente-servitore, modelli a procedura remota, modelli a memoria condivisa, transazioni distribuite. Esempi di interazione in sistemi standard di fatto (UNIX) e collegamenti con protocolli standard internazionali (TCP/IP).

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. Requisiti fondamentali: trasparenza, decentralizzazione, scalabilità. Esempi di sistemi (LOCUS, UNIX NFS, Sprite). Sistemi transazionali. 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. Esempi di sistemi (Chorus, Amoeba, CSTools, Express, Helios). Criteri e metodologie di progetto.

Standardizzazione - Organizzazione a livelli: livelli applicativi. Metodologia ad oggetti e sintassi astratta (ASN.1). Applicazioni standard distribuite: message handling, servizi di directorio, file transfer (FTAM), virtual terminal, transazioni distribuite, trasferimenti dati strutturati. Confronto dello standard con gli ambienti di programmazione disponibili.

Testi

- G. COUFORIS et al., *Distributed Systems: concepts and Design*, Addison-Wesley (II ed.), 1994.
- A. GOSCINSKI, *Distributed Operating Systems*, Addison-Wesley, 1991.
- G. DICKSON, A. LLOYD, *Open System Interconnection*, Prentice-Hall, 1992.
- S. MULLENDER, *Distributed Systems*, ACM Press, Addison-Wesley, 1993.
- A.S. TANENBAUM, *Computer networks*, Prentice-Hall, 1988 (tradotto in «Reti di Calcolatori», Jackson).

Si consigliano inoltre articoli sui diversi argomenti del corso.

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.

10390

RETI DI TELECOMUNICAZIONI

Docente: **Giorgio Corazza** prof. ord.

Finalità del Corso:

Il corso affronta le problematiche della rete di telecomunicazioni e si propone di fornirne i criteri di dimensionamento, tenendo conto delle varie tecniche di trasmissione, commutazione e segnalazione.

Programma

Rete di telecomunicazioni — Obiettivi della rete di telecomunicazioni, tecniche impiegate, servizi offerti. Dimensioni della rete, del mercato e dell'utenza. Conseguenze tecnico-economiche. Ruolo degli standard, organismi internazionali di coordinamento. Integrazione delle tecniche e dei servizi.

Elementi di teoria del traffico — Grandezze che caratterizzano il traffico. Il traffico come processo aleatorio. Catene di Markov, processi di nascita e morte, sistemi di code. Traffico telefonico, formule di Erlang, traffico di tabacco. Traffico di tipo dati, code M/M/1 e M/G/1.

Reti di calcolatori — Obiettivi e funzioni svolte. Architettura delle reti a strati. Modello di riferimento OSI a 7 strati. Protocolli e interfacce per i vari strati. Commutazione di circuito e di pacchetto. Reti geografiche, protocolli per le reti pubbliche. Reti locali, protocolli di accesso, standard IEEE 802, reti locali in fibra ottica.

Reti telefoniche — Cenni storici: era manuale ed elettromeccanica, centrali controllate elettronicamente. Segnalazione associata al circuito. Rete telefonica, piani regolatori. Commutazione elettronica numerica. Segnalazione a canale comune.

Rete numerica integrata nei servizi (ISDN) — Architetture di riferimento per ISDN. Servizi portanti e teleservizi. Accessi standardizzati: accesso base, accesso primario. Rete integrata a larga banda (BISDN). Modi di trasferimento STM e ATM. Reti di commutazione a larga banda.

Testi consigliati:

Appunti tratti dalle lezioni.

- M. DECINA, A. ROVERI, *Code e traffico nelle reti di comunicazioni*, La Goliardica Editrice, Roma.
- M. DECINA, A. ROVERI, *Introduzione alle reti telefoniche, analogiche e numeriche*, La Goliardica Editrice, Roma.
- G. DICKINSON, A. LLOYD, *Open System Interconnection*, Prentice Hall, 1992.
- W. STALLINGS, *ISDN and Broadband ISDN*, Mc Millan, New York.
- A.S. TANENBAUM, *Reti di calcolatori* Gruppo editoriale Jakson, Milano.

Esami orali.

Propedeuticità consigliate: Comunicazioni elettriche, Elettronica applicata II, Reti logiche, Sistemi per l'elaborazione dell'informazione.

5579

RETI LOGICHE

Docenti: **Roberto Laschi** prof. ord. (A-K)

Eugenio Faldella prof. ord. (inc.) (L-Z)

Finalità del corso

Introdurre le tecniche di descrizione dei sistemi digitali e presentare i modelli matematici che consentono di progettare la struttura interna a partire da un appropriato insieme di componenti e soddisfacendo di volta in volta le specifiche derivanti dalla particolare relazione ingresso/uscita assegnata.

Programma

I sistemi digitali: campi di applicazione, principi di funzionamento, problematiche di progetto. Le modalità di rappresentazione, di trasferimento e di elaborazione delle informazioni.

La gerarchia delle reti logiche. Postulati e teoremi dell'algebra di commutazione. Circuiti di commutazione. I procedimenti di analisi e di sintesi per reti combinatorie elementari, per reti combinatorie complesse e per reti combinatorie programmabili. Metodologie di rappresentazione del comportamento dinamico delle reti sequenziali. I procedimenti di analisi e di sintesi per reti asincrone. I procedimenti di analisi e di sintesi per reti sincrone. Moduli di elaborazione sequenziale e unità funzionali programmabili.

Metodologie di progetto di sistemi digitali complessi. Il principio di decomposizione in sottosistemi funzionali interagenti. Definizione di servizi, interfacce e protocolli. La distinzione tra data path e control unit. La notazione RTL per il trasferimento di dati tra registri. La sintesi di unità di controllo mediante algorithmic state machines.

Testi consigliati:

R. LASCHI, *Reti Logiche*, Esculapio, 1995.

J.P. HAYES, *Introduction to Digital Logic Design*, Addison-Wesley, 1994.

R.H. KATZ, *Contemporary Logi Design*, Benjamin/Cummings, 1994.

L'esame consiste in una prova scritta e in una successiva prova orale a carattere integrativo.

Le esercitazioni sono svolte in aula e in laboratorio come parte integrante delle lezioni e non viene quindi normalmente rispettata la distinzione formale tra ore di lezione ed ore di esercitazione prevista nell'orario ufficiale del corso.

Indirizzo delle tesi di laurea: Tecniche di progettazione e campi di applicazione dei calcolatori elettronici.

884

RICERCA OPERATIVA

Docente: **Silvano Martello** prof. ord.

Obiettivo del corso è presentare le metodologie per la soluzione dei problemi decisionali che si presentano in campo sociale ed industriale.

1. Simulazione di sistemi discreti

— Complementi di statistica: variabili aleatorie, generazione di valori pseudo-casuali, metodo della trasformazione inversa, distribuzioni discrete.

— Descrizione statica e dinamica di un sistema, metodo della programmazione degli eventi, diagrammi di flusso per problemi di simulazione.

— Linguaggio SIMSCRIPT II.5.

2. Programmazione lineare

— La programmazione matematica e i problemi di programmazione convessa.

— Forma generale, canonica e standard di un problema di programmazione. Algoritmo del simpleso: soluzioni base, interpretazione geometrica, organizzazione del «tableau», criterio di ottimalità, degenerazione, determinazione di una soluzione base iniziale.

— Teoria della dualità: problema duale, condizioni di ortogonalità, algoritmo del simpleso duale, algoritmo primale-duale.

3. Programmazione lineare intera

— Unimodularità; algoritmi con piani di taglio ed algoritmi enumerativi.

— Programmazione lineare intera: metodo di Gomory, branch-and-bound.

— Programmazione lineare mista e binaria; problema «knapsack» 0-1.

4. Teoria dei grafi

— Definizioni fondamentali.

— Alberi e cammini minimi.

- Circuiti hamiltoniani: algoritmo enumerativo.
- Problemi di flusso: algoritmo di Ford e Fulkerson per il problema del flusso massimo; trasformazioni per altri problemi di flusso

5. Teoria della complessità

- Classi P ed NP. Problemi NP-completi.
- Complessità dei principali problemi di ottimizzazione combinatoria.
- Programmazione dinamica. Problemi fortemente NP-completi.

6. Algoritmi branch-and-bound

- Schemi di branching.
- Rilassamenti: continuo, lagrangiano, surrogato; applicazione al problema knapsack multiplo.
- Procedure di riduzione.
- Algoritmi approssimati: analisi sperimentale, probabilistica, worst-case.

Testi consigliati:

- S. MARTELLO, *Lezioni di ricerca operativa*, Esculapio, 1995.
 S. MARTELLO, D. VIGO, *Esercizi di ricerca operativa*, Esculapio, 1994.
 M. GAREY, D. JOHNSON, *Computers and Intractability: a Guide to the Theory of NP-Completeness*, Freeman, 1979.
 C. PAPADIMITRIOU, K. STEIGLITZ, *Combinational Optimization - Algorithms and Complexity*, Prentice Hall, 1982.
 N. CHRISTOFIDES, *Graph Theory: an algorithmic approach*, J. Wiley, 1978.
 S. MARTELLO, P. TOTH, *Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations*, Wiley, 1990.

Esami: sono previste una prova scritta ed una orale.

Indirizzo delle *Tesi di Laurea:* problemi di ottimizzazione combinatoria.

11146

ROBOTICA INDUSTRIALE

Docente: **Claudio Melchiorri** ricerc. (inc.)

Finalità del Corso

Il Corso 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.

Programma

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 e 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. NAGEL, N.G. ODREY, *Industrial robotics: Technology, Programming, and Applications*, McGraw-Hill, 1986.

Dispense del docente.

Propedeuticità: Controllo dei Processi; Tecnologie dei Sistemi di Controllo.

6802

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

Docente: **Eugenio D'Anna** prof. ass. (inc.)

Il corso si propone di fornire agli allievi le nozioni di base della meccanica dei solidi deformabili, insieme alle tecniche risolutive (manuali ed automatiche) per i tipi strutturali più comuni.

Programma

1) *Richiami di cinematica e statica dei corpi rigidi.*

— Il caso delle travature sisostatiche.

2) *Elementi di meccanica dei continui deformabili.*

— Cinematica della deformazione.

- Statica della tensione.
 - Il modello elastico lineare.
 - Il principio dei lavori virtuali.
 - La sicurezza strutturale.
- 3) *Elementi di meccanica delle strutture.*
- Il problema di De Saint Vénant.
 - Le travature isostatiche ed iperstatiche.
- 4) *Elementi di stabilità dell'equilibrio.*
- La trave eurleriana caricata di punta.

Testi consigliati:

- M. CAPURSO, *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, Bologna, Pitagora.
 O. BELLUZZI, *Scienza delle Costruzioni - vol. I*, Bologna, Zanichelli.
 E. D'ANNA, *Appunti di Scienza delle Costruzioni*, Bologna, CLUEB.

10413

SENSORI E TRASDUTTORI

Docente: **Stefano Pirani** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria elettrica)

11147

SISTEMI DI COMMUTAZIONE

Docente: **Carla Raffaelli** ricerc. (inc.)

Obiettivi del corso

Il corso si propone di fornire una conoscenza specifica delle modalità e degli apparati per la commutazione nelle reti di telecomunicazioni con particolare riferimento alle reti integrate nei servizi.

Programma del corso

Commutazione nella rete telefonica analogica

Commutazione manuale ed automatica. Centrali a comando diretto, a comando indi-

retto a registro, a marcatore. Centrali a selettore e a punti di incrocio. Reti di Clos.

Segnalazione utente-rete e intercentrale. Segnalazione in banda e fuori banda. Segnalazione multifrequenza interregistro. Segnalazione a canale comune. Organizzazione delle reti telefonica urbana. Centrali principali e satellite. Instradamento deviato del traffico urbano. Organizzazione della rete teleselettiva.

Commutazione nella rete numerica a banda stretta (N-ISDN)

Commutazione TDM/PCM. Matrice T, matrice S, matrici TST, STS, TTT e relative tecniche di dimensionamento.

Segnalazione PCM. Sistema di segnalazione n. 7. Organizzazione della rete numerica. Migrazione dalla rete analogica alla rete numerica. Esempi di centrali numeriche: ESS N. 4.

Commutazione nella rete numerica integrata a larga banda (B-ISDN)

Architettura e protocolli per la rete B-ISDN. Modi di trasferimento e relativa classificazione. Schemi di moltiplicazione, principi di commutazione, architetture dei protocolli. Esempi di modi di trasferimento: a pacchetto, a circuito, a pacchetto veloce, a circuito veloce. Standard SDH. Standard ATM. Controllo del traffico e gestione delle risorse. Reti di interconnessione per ATM. Reti banyane. Rete Batcher/banyan. Caratteristiche generali di un commutatore ATM. Alternative di memorizzazione: accodamento in ingresso, in uscita e condiviso e relative prestazioni. Esempi di commutatori ATM: Knockout, Tandem, Replicate, rete di Turner. Cenni alla commutazione ottica.

Teoria del traffico per applicazioni a larga banda

Sistemi a coda M/G/1. Casi particolari: M/D/1, Geom/Geom/1. Sistemi multicoda-multiservitore: moltiplicatori e commutatori. Analisi semplificata di reti banyane con memoria. Modello di moltiplicatore ATM con traffico *bursty*.

Testi consigliati:

M. DECINA, A. ROVERI, *Introduzione alle reti telefoniche, analogiche e numeriche*, La Goliardica Editrice, Roma.

W. STALLINGS, *ISDN and Broadband ISDN*, Macmillan ed., New York.

J.Y. HUY, *Switching and Traffic Theory for Integrated Broadband Networks*, Kluwer Academic Publisher, Boston.

M. DE PRYCKER, *Asynchronous Transfer Mode: Solution for Broadband ISDN*, Hellis Horwood, New York.

Appunti delle lezioni forniti dal docente.

Esami orali.

Propedeuticità consigliate: Reti di Telecomunicazione.

10392

SISTEMI DI ELABORAZIONEDocente: **Remo Rossi** prof. ord.

Il corso è articolato in due parti.

Nella prima, partendo da componenti funzionali di base, si studia la realizzazione di un sistema di calcolo completo, esaminando nel contempo soluzioni con diversa architettura.

Nella seconda, che costituisce la parte prevalente del corso, vengono esaminati gli elementi fondamentali inerenti le architetture avanzate dei sistemi di calcolo, architetture che trovano i loro punti qualificanti nelle tecniche hardware e software di elaborazione parallela.

Programma

1) Sistemi di calcolo tradizionali e loro architettura.

Unità centrale - Gerarchie di memoria - Unità di controllo cablata e microprogrammata - Strutture di ingresso/uscita.

2) Introduzione alla elaborazione parallela.

Evoluzione dei sistemi di calcolo - Parallelismo nei sistemi ad un solo processore - Strutture di calcolo parallele.

3) Sistemi di Memoria.

Strutture di memoria gerarchiche - Sistemi di memoria virtuale - Allocazione e gestione della memoria - Memorie cache e loro gestione - Memoria ad interleaving - Memorie locali.

4) Sistemi di ingresso/uscita.

Caratteristiche dei sistemi di ingresso/uscita - Meccanismi di interrupt ed hardware speciale - Processori di I/O.

5) Strutture di calcolo parallele.

Sistemi a multiprocessore - Array di processori - Sistemi massivamente paralleli.

6) Reti d'interconnessione.

Reti statiche - Reti dinamiche.

7) Pipeline ed elaborazione vettoriale.

Pipeline lineare - Pipeline generali - Classificazione dei processori a pipeline - Tecniche di progettazione di una pipeline - Progetto di unità con istruzioni gestite a pipeline - Progetto di unità aritmetiche a pipeline - Progetto di processore a pipeline.

8) Calcolatori a pipeline e tecniche di vettorizzazione.

Supercalcolatori vettoriali: l'architettura del CRAY X-MP - L'architettura del CYBER 205 - L'architettura del FUJITSU VP 200 - La architettura dell'IBM 3090.

Scientific Attached Processors: l'architettura del FPS 164.

Metodi di vettorizzazione ed ottimizzazione dei codici.

9) Architetture a multiprocessore.

Strutture funzionali - Reti d'interconnessione - Organizzazioni di memorie parallele - sistemi fault-tolerant.

10) Calcolatori ad array di processori.

Organizzazioni del sistema di calcolo - Meccanismi di mascheramento e data routing - Comunicazione tra gli elementi di elaborazione - Reti d'interconnessione.

11) Sistemi di calcolo massivamente paralleli.

Strutture funzionali - Tree machines - Hypercube computers - Reti di interconnessione.

Esercitazioni: Il Corso è integrato con esercitazioni orientate alla programmazione di sistemi di calcolo a multiprocessore.

Testi consigliati

HOCKNEY, JESSHOPE, *Parallel computers*, Adam Hilger, Bristol.

HWANG, BRIGGS, *Computer architecture and parallel processing*, McGraw-Hill Book Company.

KOOGÉ, *The architecture of pipelined computers*, McGraw-Hill Book Company.

Esame: orale.

Propedeuticità consigliate: Reti logiche, Sistemi per l'elaborazione dell'informazione.

10393

SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE

Docente: **Oreste Andrisano** prof. straord.

Il corso si pone l'obiettivo di fornire i fondamenti per il dimensionamento dei sistemi di comunicazione analogici e digitali. Vengono affrontate le problematiche di base per l'analisi dei sistemi di trasmissione su canale passabanda e dei metodi di accesso multiplo. Vengono presentati alcuni esempi di progetto tratti dalle applicazioni più significative.

1. Generalità sulla rete di telecomunicazioni: la rete fissa e la rete mobile.
2. La cifra di impianto per sistemi analogici e digitali.
3. Elementi di teoria statistica della decisione.
4. Sistemi di trasmissione digitali in banda base.
5. Segnali digitali: calcolo dello spettro di potenza.
6. Sistemi di modulazione digitali su canale hertziano.
7. Descrizione statistica del rumore passabanda.
8. Confronto di prestazioni in termini di compromesso banda-potenza.
9. Sistemi con interferenza intersimbolo.
10. Sistemi di trasmissione analogici.
11. Effetti della non linearità.
12. Caratterizzazione della tratta radio.
13. Effetti delle interferenze nei sistemi digitali.
14. Formati di accesso multiplo.
15. Alcune applicazioni, con relativi calcoli di progetto, scelte tra le seguenti:
 - a) sistemi radiomobili cellulari
 - b) reti di comunicazione wireless

- c) sistemi di telecomunicazioni per la gestione del traffico
- d) sistemi di radiodiffusione diretta da satellite
- e) ponti radio
- f) sistemi «video on demand».

Seminari: vengono organizzati nell'ambito del corso mediante la partecipazione di esponenti del mondo industriale.

Esercitazioni di laboratorio: calcoli di progetto di sistemi di trasmissione, dimostrazioni subanco di misura relative a sistemi di trasmissione digitali.

Tesi: di tipo sperimentale da sviluppare in laboratorio o presso aziende manifatturiere di Telecomunicazioni.

Testi consigliati:

Quaderni di telecomunicazioni: appunti tratte dalle lezioni del Prof. O. Andrisano, Esculapio, Bologna.

TAUB SCHILLING, *Principles of Communication Systems*, Second Edition, Mc Graw-Hill.

M. SCHWARTZ, *Information, Transmission, Modulation and Noise*, McGraw-Hill.

BRUCE CARLSON, *Communication Systems*, Third Edition, McGraw-Hill.

B. SKLAR, *Digital Communications, Fundamental and Applications*, Prentice Hall.

10394

SISTEMI INFORMATIVI I

Docente: **Paolo Tiberio** prof. ord.

Programma

Introduzione ai concetti fondamentali sui sistemi informativi. Metodologie di classificazione delle informazioni. Rappresentazione delle informazioni su memoria di massa, caratteristiche dei dispositivi.

Struttura degli archivi: archivi sequenziali e relativi. Metodi di ordinamento e di ricerca. Metodologie ed algoritmi per l'accesso con funzioni hash. Metodi per il riordinamento e per la gestione dell'overflow, metodi hash dinamici. Strutture sequenziali con indice. Il B-tree e le sue varianti. Indici secondari. Calcolo dei costi di accesso e di strutturazione dei dati.

Metodologie di archiviazione di documenti non strutturati. Strutture e files invertiti, strutture multilista e multianello. Metodi che utilizzano signature files.

Sistemi di gestione di basi di dati (DBMS). Architettura generale di un DBMS. Modelli logici dei dati: gerarchico, reticolare, relazionale. Strutture fondamentali dei sistemi reticolari.

Normalizzazione delle relazioni ed eliminazione delle anomalie. Algebra relazionale. Il

linguaggio di interrogazione SQL, il join e l'outerjoin, le operazioni di modifica dei dati, la gestione dei valori nulli.

Architettura 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.

Metodi di accesso nei sistemi navigazionali, le strutture gerarchiche e reticolari.

Architettura generale di un DBMS relazionale distribuito e metodologie per la gestione della base di dati distribuita. Criteri per l'ottimizzazione di join distribuiti. Metodologie di ripristino sui sistemi distribuiti, integrazione con le metodologie di acquisizione dei dati.

Criteri generali per il progetto di basi di dati relazionali, metodologia di selezione delle strutture di indirizzamento.

Testo di riferimento:

A. ALBANO, *Basi di Dati - Strutture ed algoritmi*, Addison Wesley, 1992.
Sono inoltre disponibili in fotocopia appunti informali rilasciati dal docente.

Testi di consultazione:

C.J. DATE, *An introduction to database systems*, volumi I e II, Addison Wesley, 1985.
R.F. VAN DER LANS, *Introduction to SQL*, Addison Wesley, 1988.
S. CERI, *Methodology and tools for database design*, North Holland, 1983.
S. CERI, G. PELAGATTI, *Distributed database: principles and systems*, Mc Graw Hill, 1984.
J. ULLMAN, *Basi di dati e basi di conoscenza*, Jackson, 1992.

11149

SISTEMI INFORMATIVI II

Docente: **Dario Maio**

Il corso si propone di fornire all'allievo gli strumenti necessari per la progettazione di un sistema informativo. Particolare accento verrà posto sulla tecnologia delle basi di dati relazionali e sui metodi necessari per un suo impiego corretto nel progetto di un sistema informativo.

Nella prima parte del corso vengono discusse le caratteristiche dei sistemi di gestione di basi di dati distribuite, soffermandosi sugli aspetti di progettazione dei dati, di ottimizzazione delle interrogazioni, di gestione della concorrenza e del recovery.

Nella seconda parte vengono presentate le caratteristiche delle varie fasi di progettazione dei sistemi informativi, confrontando i diversi approcci proposti in letteratura, esaminando in particolare i seguenti argomenti:

Ciclo di vita dei sistemi informativi. Pianificazione e valutazione costi-benefici. Raccolta e analisi dei requisiti. Specifica dei requisiti. Modellazione dei dati, della dinamica, delle funzioni. Uno schema di confronto dei vari metodi. Metodi di progettazione basati su scomposizione funzionale. Analisi strutturata, cenni ad altri metodi. Metodi di progettazione orientati agli oggetti. Strumenti di ausilio alla progettazione.

Allo scopo di evidenziare gli aspetti peculiari dei diversi metodi di progettazione, vengono esaminati in dettaglio alcuni modelli e metodi largamente impiegati in ambienti industriali. Parte integrante del corso è costituita da esercitazioni riguardanti lo sviluppo di applicazioni database in ambiente relazionale, in configurazione centralizzata e distribuita.

La parte finale del corso illustra e discute le direttrici di sviluppo nel settore dei sistemi informativi, focalizzando in particolare l'attenzione sulle prospettive offerte dalle basi di dati orientata agli oggetti e sui sistemi per la gestione di dati multimediali.

Modalità d'esame

L'esame consta di due parti:

- 1) discussione di un elaborato di progetto
- 2) prova orale

Testi di base

Saranno disponibili dispense informali sui vari argomenti trattati nel corso.

OTZU VALDURIEZ, *Principles of distributed database systems*, Prentice-Hall.

C. BATINI, S. CERI, S. NAVATHE, *Conceptual Database Design-an Entity-Relationship approach*, Benjamin Cummings (1992).

E. BERTINO, L.D. MARTINO, *Sistemi di base di dati orientate agli oggetti - concetti e architetture*, Addison-Wesley Masson (1992).

Bibliografia di consultazione: rivolgersi al Docente.

4152

STRUMENTAZIONE BIOMEDICA

Docente: **Guido Avanzolini** prof. ord.

Nella I parte il corso 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 II parte del corso sono illustrati i principi di funzionamento e le applicazioni dei più diffusi Life support systems, mentre nella III^a parte si danno i concetti fondamentali sulla sicurezza delle apparecchiature biomediche.

Programma

Parte I - Sistemi di Misura

1. Concetti generali

Descrizione funzionale di un sistema di misura. Indici di prestazione degli strumenti di misura: Caratteristiche statiche, caratteristiche dinamiche.

2. Sensori

Trasduttori resistivi di temperatura, velocità e pressione. Trasduttori piezoelettrici: principi fisici ed applicazione nelle apparecchiature ad ultrasuoni. Trasduttori fotoelettrici: legge di Lambert-Beer ed apparecchiature per analisi cliniche (densitometri, ossimetri, etc.). Trasduttori elettrochimici: pHmetri, blood gas analyzers e strumenti amperometrici. Elettrodi per segnali bioelettrici (Elettro-cardiogramma ed encefalogramma).

3. Acquisizione di segnali biologici

Preamplificatori: per strumentazione, d'isolamento, di modo comune. Amplificatori e oscilloscopi e registratori per uso biomedico. Elaborazione di segnali nella strumentazione biomedica. Esempi di applicazione: Elettrocardiografia, Laboratorio cardiovascolare, Unità di cura intensiva, Laboratorio di analisi cliniche.

4. Strumentazione per bioimmagini

Strumentazione per la generazione, l'acquisizione e la visualizzazione di immagini. Applicazioni in Radiologia e medicina nucleare, Ecografia, Tomografia assiale computerizzata. Risonanza magnetica Nucleare.

Parte II - Sistemi di supporto alle funzioni vitali

Emodialisi. richiami di fisiologia renale, la macchina per dialisi, monitoraggio e controllo del processo di emodialisi. Dispositivi intra ed extra corporei di supporto alla circolazione del sangue. Macchina cuore-polmone, pallone intraaortico, ventricular assist devices. Elettrostimolatori cardiaci: pacemakers e defibrillatori. Protesi mioelettriche per arto superiore.

Parte III - Sicurezza elettrica delle apparecchiature biomediche

Effetti della corrente elettrica sull'uomo. Rischi di shock elettrico da apparecchiature biomediche. Metodi per prevenire gli incidenti elettrici. Verifica delle apparecchiature elettromedicali.

Testi consigliati:

G. AVANZOLINI, *Strumentazione biomedica*, Patron Editore, Bologna, 1975.

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 del corso.

10407

STRUMENTAZIONE E MISURE ELETTRONICHE

Docente: **Pietro Olivo** ricerc. (inc.)

Finalità del corso

Il corso, 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. Il corso 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 bandwidth.*

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.

Esami

L'esame (orale) prevede anche, per chi ha svolto le esercitazioni, la discussione di una relazione sull'esercitazione di laboratorio svolta.

Tesi consigliati:

Appunti forniti dal docente. Sono disponibili videocassette che descrivono l'uso degli strumenti ed illustrano le esercitazioni.

1031

TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI

Docente: **Alessandro Orlandi** prof. ord.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile)

5574

TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO (Informatica ed Elettronica)Docente: **Alberto Tonielli** prof. ass.*Finalità del corso*

Il corso si propone di illustrare i principali aspetti 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 realizzazione 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 al problema (tipicamente di controllo) da affrontare. Tra i problemi sono considerati in dettaglio l'interferenza dei rumori con le apparecchiature di controllo, l'implementazione digitale e la messa in scala di regolatori e filtri e le tematiche relative all'affidabilità dei componenti e degli apparati.

Due tipici problemi di controllo sono esaminati in dettaglio. Il primo 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. Il secondo è relativo al controllo assi che viene esaminato e discusso in aula e verificato in simulazione dallo studente.

*Programma**Controllori logici programmabili:*

Caratteristiche Hardware/Software. Linguaggi di programmazione standard. Il GRAFCET come linguaggio ad alto livello per logiche sequenziali. Definizione delle specifiche di un sistema di controllo industriale; preparazione della esercitazione di laboratorio.

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. Cenni sull'amplificazione di potenza.

Implementazione digitale di regolatori e filtri:

Il problema della messa in scala e delle rappresentazioni numeriche.

Affidabilità:

Terminologia e definizioni. Norma MIL 217-D per il calcolo del tasso di guasto dei componenti elettronici. Sistemi complessi ed interconnessi. Sistemi ridondati.

Compatibilità elettromagnetica delle apparecchiature di controllo:

Terminologia e definizioni; classificazione dei disturbi. I principali percorsi di accoppiamento dei disturbi (EMI). Tecniche di protezione per apparecchiature operanti in bassa frequenza. Esempi.

Testi consigliati:

G. MARRO, *Componenti dei sistemi di controllo*, Zanichelli ed.

Verranno inoltre fornite dispense a cura del docente e copia dei fogli applicativi dei dispositivi presentati.

Esercitazioni: Completa il corso una esercitazione relativa alla progettazione e la realizzazione del sistema di controllo con PLC di una apparecchiatura industriale (simulata o in scala).

Esami: Lo svolgimento della prova di esame consiste in un tema scritto di verifica della capacità di programmazione di un PLC e delle restanti 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.

4115

TEORIA DEI SISTEMI

Docente: **Roberto Guidorzi** prof. ord.

Il corso presenta le caratteristiche dei modelli in grado di descrivere i sistemi dinamici e ne discute le relative proprietà, fornendo una base per i corsi successivi sui controlli automatici e sui calcolatori.

*Programma**Introduzione ai sistemi*

Concetti fondamentali. Modelli esterni e modelli ingresso/stato/uscita. Modelli differenziali ed alle differenze ingresso/stato/uscita. Stati equivalenti e sistemi equivalenti. Moti, traiettorie e stati di equilibrio. Sistemi lineari. Raggiungibilità, controllabilità, osservabilità, ricostruibilità e relativi insiemi caratteristici. I principali problemi di controllo e osservazione dello stato. Le problematiche della teoria dei sistemi e del controllo.

La stabilità nei sistemi dinamici

Stabilità dei moti e delle risposte rispetto a perturbazioni dello stato iniziale e dell'ingresso. Stabilità in piccolo e in grande. I criteri di stabilità di Liapunov. Linearizzazione dei sistemi non lineari. Il criterio ridotto di Liapunov. I criteri di instabilità di Liapunov e di Cetaev.

I sistemi a stati finiti

Modelli di sistemi a stati finiti. Esempi di sistemi a stati finiti. Rappresentazione con tabelle e grafi. Controllabilità. Stati equivalenti e riduzione alla forma minima. Diagnosi ed osservazione dello stato. Incasellamento e ricostruzione dello stato. Sistemi a memoria finita.

I sistemi lineari non stazionari

Evoluzione dello stato. Matrice di transizione e sue proprietà. Risposta impulsiva. Raggiungibilità e controllabilità: calcolo dei sottospazi caratteristici e soluzione del problema del controllo tra due stati. Osservabilità e ricostruibilità: calcolo dei sottospazi caratteristici e soluzione del problema dell'osservazione dello stato iniziale. Condizioni necessarie e sufficienti per la stabilità semplice, asintotica, i.l.s.l. ed i.l.u.l.

I sistemi lineari stazionari

Calcolo dell'esponenziale di matrice e della potenza di matrice. Determinazione del moto. Modi e loro stabilità. Passaggio dai modelli continui a quelli discreti. Determinazione dei sottospazi di raggiungibilità, controllabilità, osservabilità e ricostruibilità. Cambiamenti di base nello spazio degli stati e scomposizione canonica di Kalman. Uso della forma di Jordan. Condizioni per la stabilità semplice, asintotica, i.l.s.l. e i.l.u.l. Retroazione e assegnabilità degli autovalori. Osservatori asintotici dello stato e proprietà di separazione. Rappresentazioni di ingresso/uscita. Funzione di trasferimento. Realizzazione di una risposta impulsiva e di sequenze di ingresso/uscita. Identificazione di un modello da sequenze di ingresso/uscita affette da rumore additivo.

Il corso è integrato dai seguenti richiami matematici

Proiezioni e sottospazi invarianti. Cambiamenti di base e matrici di proiezione. Proiezioni ortogonali e pseudoinversa. La forma triangolare superiore. La forma canonica di Jordan. Matrici hermitiane e forme quadratiche. Funzioni di matrice. Metodi computazionali per la determinazione dei polinomi caratteristico e minimo.

Esercitazioni

Le esercitazioni sono parte integrante del corso e comprendono aspetti elementari di modellistica e l'applicazione delle metodologie sistemiche a sistemi reali. È inoltre prevista l'utilizzazione di personal computer con codici di calcolo per la risoluzione di problemi di analisi e sintesi di sistemi dinamici di dimensioni non banali.

Testi consigliati:

- S. BEGHELLI, R. GUIDORZI, *Teoria dei Sistemi: Test commentati e risolti*, Esculapio, Progetto Leonardo, Bologna, 1991.
 R. GUIDORZI, *Teoria dei Sistemi: Esercizi e Applicazioni*, Zanichelli, Bologna, 1991.
 G. MARRO, *Teoria dei Sistemi e del Controllo*, Zanichelli Editore, Bologna, 1989.
 R. GUIDORZI, *Appunti integrativi sulla stabilità*. Disponibile come file PostScript sul server Web <http://deis100a.deis.unibo.it/tds95/>.
 R. GUIDORZI, *Dispensa sugli schemi di stima*. Disponibile come file PostScript sul server Web <http://deis100a.deis.unibo.it/tds95/>.
 E. FORNASINI, G. MARCHESINI, *Appunti di Teoria dei Sistemi*, Edizioni Libreria Progetto, Padova, 1988.
 S. RINALDI, *Teoria dei Sistemi*, Hoepli, Milano, 1973.

Esami

Gli esami prevedono una prova scritta obbligatoria basata sulla risposta a domande di tipo non mnemonico volte ad accertare il grado di approfondimento della materia da parte del candidato e sullo svolgimento di esercizi.

Strumenti didattici su Internet

Il server Web <http://deis100a.deis.unibo.it/tds95/>, dedicato al corso, contiene informazioni dettagliate ed aggiornate su contenuti e struttura del corso, testi di prove di esame, materiale didattico vario (dispense, appunti, manuali, Errata Corrige dei testi adottati). Il server inoltre consente di sottoporre domande al docente, di consultare le domande sottoposte da altri allievi e le risposte del docente, di mettersi in lista per le prove d'esame, di consultare i risultati di tali prove e di aver accesso, su Internet, a risorse legate agli argomenti del corso.

11177

TEORIA E TECNICA DELLA CIRCOLAZIONEDocente: **Giannino Praitoni** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile)

10720

TRASMISSIONE NUMERICADocente: **Leonardo Calandrino** prof. ord. (inc.)*Programma*

Fondamenti di Teoria dell'informazione.

Sorgenti di informazione. Entropia di una sorgente. Ridondanza. Codifica di sorgente.

Esempi di sistemi di codifica di sorgente con eliminazione di ridondanza. Codec per segnali audio e per segnali video.

Canali di trasmissione. Capacità di un canale. Codifica di canale.

Esempio di sistemi di codifica di canale. Codici a correzione d'errore. Trasmissione per mezzo di forme d'onda codificate.

Ricevitori adattativi ed equalizzazione di canale.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE 2007, 2110**Programmi delle materie di insegnamento****Per le seguenti materie:**

- 1350 Analisi matematica I
- 1354 Analisi matematica II
- 1360 Chimica
- 9268 Economia e Organizzazione aziendale
- 1368 Fisica I
- 1373 Fisica II
- 9757 Geometria e Algebra
- 1380 Meccanica razionale
v. Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

- 9758 Disegno tecnico industriale
- 6801 Scienza delle costruzioni
v. Corso di Laurea in Ingegneria Chimica

- 1382 Azionamenti elettrici
v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica

7942

CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI (per Nucleari)Docente: **Dario Nobili** prof. ass.

Il Corso 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 all'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.

Il Corso 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.

1384

COSTRUZIONE DI MACCHINE

Docente: Sergio Curioni prof. ord.

Finalità del corso

Lo scopo del corso 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. Sollecitazioni nei perni e spine. Normativa.

11. Collegamenti a vite. Calcolo delle forze e rendimento di una vite 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.

Propedeuticità consigliate: Scienza delle costruzioni, Meccanica applicata alle macchine.

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.

9758

DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE (per Elettrotecnici, Chimici, Ambiente e Nucleari)
 Docente: **G. Caligiana** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica)

7944

ELEMENTI DI FISICA DEL REATTORE A FISSIONE E A FUSIONE
 Docente: **Vincenzo Molinari** prof. ord.

Il corso si propone: a) fornire i fondamenti fisici connessi con il funzionamento di un reattore nucleare a fissione; b) introdurre gli elementi di fisica del plasma necessari per la descrizione e l'analisi dei reattori a fusione.

Programma

Il programma è suddiviso in tre parti:

— una *prima parte* che ha lo scopo di fornire agli studenti quegli elementi di meccanica statistica dei sistemi non in equilibrio e di teoria del trasporto che sono necessari per affrontare lo studio dei reattori a fissione e a fusione (tipici sistemi non in equilibrio termodinamico).

Gli argomenti trattati sono:

Equazione di Liouville; Gerarchia di equazioni di B.B.G.K.Y.; Equazioni cinetiche; Equazione di Vlasov; Integrale di collisione di Boltzmann; Equazione di Fokker-Planck e di Landau; Teorema H; Distribuzione Maxwelliana; Legge di Fick generalizzata; Equazione di diffusione ed equazione di Onsager; Equazioni macroscopiche per una teoria a più fluidi.

— Nella *seconda parte* le equazioni ricavate nella parte precedente vengono applicate per l'analisi di alcuni problemi tipici dei reattori a fissione.

Problemi di rallentamento; Termalizzazione e diffusione dei neutroni; reattori termici omogenei ed eterogenei; Fattore di moltiplicazione infinito e formula dei quattro fattori; Criticità di un reattore termico; Fattore di moltiplicazione effettivo; L'equazione di criticità e la teoria dell'età di Fermi; Reattore termico con riflettore (schema a 1 e 2 gruppi di neutroni).

— La *terza parte* ha lo scopo di introdurre ed analizzare alcuni fenomeni tipici del comportamento dinamico di un plasma. In particolare:

Lunghezza di Debye e formazioni delle guaine; Onde elettroniche e onde acustiche; Propagazione di onde elettromagnetiche in un plasma; Superfici isobariche a pressine magnetica; Diffusione e Resistività.

Inoltre vengono trattati i seguenti argomenti:

Condizioni fisiche per le reazioni termonucleari; Criterio di Lawson; Teoria delle orbite; Specchio magnetico; Confronto fra vari tipi di sistemi proposti per il confinamento magnetico del plasma.

Il corso viene corredato da una serie di *esercitazioni* teoriche e numeriche.

Esami: una prova scritta e una prova orale.

Testi consigliati:

V. BOFFI, *Fisica del reattore nucleare*, vol. I, parte 1^a e 2^a, Patron Ed., Bologna, 1974.

10425

ELETTRONICA APPLICATA + CONTROLLI AUTOMATICI I (corso integrato)

Docenti: **Antonio Gnudi** ricerc. (inc.)

Maria Elisabetta Penati ricerc. (inc.)

Programma

CONTROLLI

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, integrali di convoluzione.

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, assegnamento dei poli e luogo delle radici (regole di costruzione, proprietà, esempi);
- Regolatori standard. Retroazione tachimetrica.

ELETTRONICA

— Elementi di fisica dei semiconduttori - Elettroni e lacune - Mobilità e conducibilità nei

semiconduttori - Diffusione delle cariche mobili - Il modello matematico dei dispositivi
- Il modello ohmico diffusivo.

- Giunzione pn - Analisi della caratteristica corrente/tensione in polarizzazione diretta ed inversa - Comportamento in regime dinamico - Capacità differenziale.
- Il transistor MOS a canale n - Analisi delle caratteristiche corrente/tensione in regime lineare ed in saturazione - In transistor MOS a canale p .
- Definizione di sistema digitale - Elementi di logica booleana - Porte logiche elementari - Reti combinatorie - Mappe di Karnaugh - Reti sequenziali asincrone - Reti sequenziali sincrone.
- Introduzione ai circuiti digitali - Modello semplificato dell'invertitore - Soglia logica - Margini di immunità ai disturbi - Ritardo di propagazione.
- Invertitore CMOS - Analisi della caratteristica statica - Regime dinamico - Porte logiche elementari CMOS.
- Circuiti bistabili - Flip-flop SR, JK e D.
- Cenni sulle memorie a semiconduttore - Principi di funzionamento delle RAM statiche e dinamiche - ROM e PLA.

10401

ELETTRONICA APPLICATA + CONTROLLI AUTOMATICI II (corso integrato)

Docenti: **Antonio Gnudi** ricerc. (inc.)

Maria Elisabetta Penati ricerc. (inc.)

Programma

CONTROLLI

1. La funzione di risposta armonica
 - Definizione e sue rappresentazioni: diagrammi polari, diagrammi di Bode.
 - La formula di Bode.
2. 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.
3. Sintesi nel dominio delle frequenze
 - Reti correttive di tipo anticipo, ritardo, anticipo-ritardo.
4. Componenti dei sistemi di controllo
 - Motori elettrici in c.c e in c.a
 - Amplificatori di potenza e convertitori statici.
 - Trasduttori.

ELETTRONICA

- Il transistor bipolare - Principi di funzionamento ed analisi delle caratteristiche corrente/tensione - Modello di Ebers e Moll.
- Il regime di piccoli segnali - Linearizzazione delle equazioni costitutive dei componenti - Circuito equivalente per piccoli segnali del transistor bipolare
- Amplificatori per piccoli segnali - Stadi amplificatori elementari - Stadio amplificatore differenziale
- Richiami sulla retroazione nei circuiti lineari - Amplificatori operazionali: cenni sulla struttura e principali applicazioni.

8082

ELETTROTECNICA (per Nucleari)Docente: **Francesco Negrini** prof. ord.*Campi elettromagnetici*

Equazioni di Maxwell in forma locale e integrale nei mezzi stazionari. Condizioni di continuità sulla superficie di separazione tra due mezzi. Energia di un sistema elettromagnetico e bilanci energetici. Teorema di Poynting. Condizioni iniziali, al contorno e teorema di unicità. Soluzioni analitiche di problemi di campo elettrico e magnetico. Passaggio dalla teoria dei campi a quella dei circuiti. Proprietà dei materiali conduttori, dielettrici e magnetici. Perdite Joule, per isteresi, per correnti parassite e dielettriche. Magneti permanenti.

Teoria delle reti e dei circuiti elettrici

Reti e circuiti a parametri concentrati e limiti di validità. Leggi di Kirchhoff. Tecniche elementari di manipolazione circuitale: collegamenti in serie e in parallelo, trasformazioni stella-triangolo e triangolo-stella. Metodi generali di analisi dei circuiti. Principio di sovrapposizione degli effetti. Teoremi di Thevenin e di Norton. Metodi generali di studio delle reti in fase transitoria (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. Gli strumenti elettrodinamici di misura. Il rifasamento. Sistemi trifase. Cenni sui generatori di alimentazione di un sistema trifase. Utilizzatori a stella e a triangolo. Teorema di equivalenza. Potenza assorbita da un utilizzatore trifase. Inserzione Aron. Sistemi trifase con neutro.

Macchine ed azionamenti elettrici

Ipotesi fondamentali relative allo studio delle 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. Funzionamento a vuoto e in cortocircuito. Misura del rendimento. Trasformatori di misura. Trasformatori trifase. *Il campo magnetico rotante*. Caratteristiche costruttive delle macchine rotanti in c.a.. Ipotesi di campo. Campo stazionario al traferro prodotto dalla corrente di una fase. Campo rotante al traferro generato dalle correnti di un avvolgimento polifase. *Macchine asincrone*. Equazioni interne. Teorema di equivalenza. Coppia elettromagnetica. Condizioni di funzionamento da motore, generatore e freno. Caratteristica meccanica ed elettromeccanica. 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. Alternatore monofase. *Macchine a corrente continua*. Caratteristiche costruttive. F.e.m. indotta alle spazzole. Commutazione. Coppia elettromagnetica. Equazioni interne ed esterne della dinamo. Caratteristica esterna. Dinamo autoeccitata in parallelo. Motore con eccitazione in parallelo. Motore eccitato in serie. *Motori speciali*. *Elementi di elettronica industriale*. Dispositivi e circuiti a stato solido per il controllo delle macchine elettriche: diodi, transistori, tiristori (SCR, GTO), sistemi di raddrizzamento monofasi e polifasi, controllati e non, chopper ed inverter. *Azionamenti elettrici*. Tipologie, caratteristiche e campi di impiego dei principali tipi di azionamento in c.a. ed in c.c.

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 matematica 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:

Testi didattici

1. F. BAROZZI, F. GASPARINI, *Fondamenti di Elettrotecnica: elettromagnetismo*, UTET, Torino, 1989.
2. S. BASILE, *Richiami di Elettromagnetismo*, Pitagora Editrice, Bologna, 1981.
3. F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, Pitagora Editrice, 1971.

4. L. MERIGLIANO, *Lezioni di Elettrotecnica*, voll. I e II, CLUEP, Padova, 1989.
5. G. SOMEDA, *Elementi di Elettrotecnica generale*, Patron Editore, Bologna, 1979.
6. C.A. DESOER, E.S. KUH, *Fondamenti di teoria dei circuiti*, 13^a Ed., Franco Angeli Ed., Milano, 1990.
7. V. DANIELE, A. LIBERATORE, R. GRAGLIA, S. MANETTI, *Elettrotecnica*, Monduzzi Ed., Bologna, 1994.

7972

ENERGETICA E SISTEMI NUCLEARI

Docente: Marco Spiga 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 dal vento; analisi dei siti eolici; distribuzione probabilistica di Rayleigh e Weibull; rendimento teorico di Betz; aeromotori e aeogeneratori 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.

422

FISICA NUCLEAREDocente: **Valerio Benzi** prof. ass.*Finalità del corso:*

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 del corso

Richiami 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.*E. SEGRE, *Nuclei e particelle.*

430

FISICA TECNICA (sem.)Docente: **Enzo Zanchini** prof. ass.

7945

FONDAMENTI DI INFORMATICADocente: **Franca Rossi Tesi** prof. ass.

(Corso di Laurea in Ing. per l'ambiente e il territorio)

IMPIANTI NUCLEARIDocente: **Enrico Sobrero** prof. ass.

Lo scopo del corso 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.

Programma

La prima parte del corso è dedicata allo studio dei principali problemi termici, termoidraulici e termomeccanici dei «noccioli» 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 alcuni componenti fondamentali e tipici di impianti nucleari è oggetto di una terza parte del corso. 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 ritrattamento 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 del corso ed aggiornamenti bibliografici sono disponibili di anno in anno.

Le *esercitazioni* vengono svolte come parte integrante del corso e riguardano applicazioni e sviluppi degli argomenti trattati.

Propedeuticità consigliate: Fisica tecnica, Scienza delle costruzioni, Fisica del reattore, Macchine.

Tesi di Laurea o di carattere progettuale o di ricerca applicata, su temi stabiliti di anno in anno.

10385

LOCALIZZAZIONE DEI SISTEMI ENERGETICI**Docente: Carlo Maria Orlandelli prof. ass.**

Il corso 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 radioattività 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 e 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:

- L. 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 resulting cost to the utility*, Report, 1988.
- P.A. VESILIND, J.J. PEIRCE, R.F. WEINER, *Environmental Engineering*, second edition, 1988, Butterworths.

4313

MACCHINE (per Nucleari ed Elettrotecnici)Docente: **Giorgio Negri di Montenegro** prof. ord.*Finalità del corso:*

Il corso si propone di fornire in primo luogo all'allievo ingegnere nucleare la metodologia di base per la comprensione dei fenomeni termofluidodinamici che avvengono nelle macchine motrici e operatrici delle centrali di potenza convenzionali e nucleari. Questa indagine è strettamente correlata allo studio dei principali gruppi a vapore, a gas, a fluidi pesanti e combinati, già in uso o di prevista realizzazione a breve termine.

In un secondo tempo vengono individuate le grandezze caratteristiche e le relative curve delle predette macchine al fine di rendere definito il loro campo di impiego e le loro prestazioni. Ciò richiede lo studio preliminare della costituzione e del modo di funzionare delle macchine in esame.

Programma

- 1) I generatori di vapore — la combustione, il rendimento e l'architettura.
- 2) Condensatori a miscela ed a superficie.
- 3) Gruppi di potenza a vapore; gruppi di potenza a gas; i gruppi combinati gas vapore; la cogenerazione.
- 4) Gruppi e macchine frigorifere.
- 5) I compressori di gas.
- 6) Le turbomacchine idrauliche.
- 7) Le pompe centrifughe e alternative.
- 8) Impianti di pompaggio.
- 9) Motori a combustione interna, a carburazione e diesel.

Propedeuticità: Fisica Tecnica, Scienza delle Costruzioni, Meccanica delle macchine.

Testi consigliati:

- G. MORANDI, *Macchine ed apparecchiature a vapore e frigorifere*, Ed. Pitagora, Bologna.
 G. MINELLI, *Macchine idrauliche*, Ed. Pitagora, Bologna.
 G. NEGRI DI MONTENEGRO, D. MORO, G. NALDI, *Corso di macchine 1 Sistemi e componenti termici*, Ed. Pitagora, Bologna.
 G. NEGRI DI MONTENEGRO, G. NALDI, A. PERETTO, *Corso di macchine 2 Macchine volumetriche Trasmissioni meccaniche*, Ed. Pitagora, Bologna.

10008

MAGNETO-FLUIDODINAMICA APPLICATADocente: **Carlo Angelo Borghi** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria elettrica)

10385

MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (per Nucleari)Docente: **Alberto Maggiore** prof. ord.*Scopo del corso:*

Il corso si propone di fornire gli elementi necessari per lo studio delle macchine dal punto di vista statico, cinematico e dinamico.

Programma

La prima parte del corso è dedicata allo studio delle forze che si trasmettono mutuamente i membri di un meccanismo e all'analisi del movimento dal punto di vista cinematico. A questo scopo viene esaminato il comportamento delle coppie cinematiche in condizioni sia di attrito secco sia di lubrificazione. L'analisi viene estesa ai principali meccanismi impiegati nella tecnica: quadrilatero articolato, manovellismo di spinta, glifo a croce, giunto di Cardano, meccanismi con camme, rotismi ordinari e differenziali, meccanismi con organi flessibili.

Nella seconda parte del corso vengono considerati alcuni aspetti del comportamento dinamico delle macchine. Dapprima sono risolti problemi di tipo diretto, volti alla determinazione delle azioni di inerzia, con applicazioni al caso di meccanismi di larga diffusione, come i manovellismi di spinta, oppure allo studio della regolarità del moto di macchine funzionanti a regime periodico. Quindi si affrontano problemi di tipo indiretto

relativi allo studio delle vibrazioni di sistemi ad uno o più gradi di libertà, giungendo a trattare il problema del disaccoppiamento delle equazioni del moto mediante l'analisi modale. In questo ambito vengono trattati i problemi delle velocità critiche dei rotori e dell'equilibratura dei rotori rigidi.

Testo consigliato:

E. FUNAIOLI, A. MAGGIORE, U. MENEGHETTI, *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine*, voll. 1 e 2, ed. Patron, Bologna.

Esercitazioni relative ad argomenti trattati nel corso.

Esami orali, con almeno una delle domande relative ad un esercizio.

5804

METODI MATEMATICI DEI REATTORI NUCLEARI

Docente: **Tullio Trombetti** prof. ord.

Scopo del corso:

Il corso 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 . Diseguaglianza 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. Fun-

zione 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.

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, ...).

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.

730

MISURA DELLE RADIAZIONI E PROTEZIONE

Docente: **Paolo Amadesi** prof. ass.

Programma

Parte I — *Tipi di radiazione:*

Alfa, beta, gamma, neutroni lenti e veloci, protoni, deutoni, particelle pesanti. Interazione con la materia, range dei materiali, classificazione energetica.

Sorgenti di radiazione:

Alfa, beta, gamma, neutroni, particelle pesanti, emissione, decadimento, produzione, caratteristiche fisico-chimiche.

Unità di dose:

Dose di esposizione: roentgen. Dose assorbita: rep, rad, rem, RBE, LET, fattori di qualità.

Irradiazione dell'organismo:

Irradiazione esterna ed interna, organi critici, calcolo di MBB, di MCP_{aria} , MCP_{water} ; calcolo di dose accumulata, R_{50} , rapporto flusso/intensità di dose.

Massime dosi permesse:

Professionale, occasionali, popolazione; corpo intero e organi particolari; dosi eccezionali concordate; dosi da incidente. Legislazione nucleare.

Dosi da incidenti tipici di impianto:

Emissione gassosa continua, da incidente. Calcolo impianto di ventilazione di laboratori attivi. Intake accidentale e valutazione dose in organo critico.

Prodotti di fissione:

Catene di decadimento. Calcolo accumulo componenti. Attività totale miscela nel tempo.

Parte II — Misura delle Radiazioni:**Interazioni con la materia:**

Gamma: effetto fotoelettrico, Compton, produzione di coppie. Elettroni: range, attenuazione — Principio di Bragg-Gray — Neutroni: sezioni microscopica e macroscopica di interazione, scattering elastico ed anelastico, cattura radiativa, attivazione, fissione. Particelle pesanti: ionizzazione, eccitazione.

Metodi di rivelazione:

Fisici, chimici, calorimetrici.

Sistemi di rivelazione:

Camere a gas, contatori a scintillazione, a stato solido, dosimetri fotografici e chimici.

Statistica dei sistemi di rivelazione:

Teoria della probabilità, dispersione quadratica media, errore di misure singole e di media, errore medio della media, distribuzione gaussiana e Poissoniana.

Camere di ionizzazione:

Teoria; a piatti paralleli — anello di guardia — particolari costruttivi, efficienza ai gamma. Ad aria libera o a gas in pressione.

Contatori Geiger:

Per beta — formazione dell'impulso, caratteristica, calcolo efficienza, dipendenza energia, catena di conteggio, spegnimento scarica.

Per gamma — determinazione efficienza.

Contatori proporzionali:

Caratteristica — uso integrale, analisi di impulsi.

Rivelatori a scintillazione:

Teoria scintillatori, scintillatori per beta, gamma, alfa, fotomoltiplicatori, fotocatodo,

montaggio integral-lines, efficienza globale e parziale, alimentazione, spettrogramma, beta, alfa.

Emulsioni fotografiche:

Caratteristiche — dipendenza dall'energia per gamma, X, neutroni veloci; sistema Hurst; dosimetria personale.

Rivelazione dei neutroni:

Misura diretta, a protoni di rinculo, a reazione nucleare; camere a Boro-10 a ionizzazione, proporzionali. Camere a fissione, long-counters, rivelatori a stato solido.

Misura indiretta: a radioattività indotta; metodo a fogli sottili con cadmio. Rivelatori a soglia. Spettrometria neutronica a gruppi di energia. Dosimetria di criticità.

Parte III — Schermature.

Rischi da irradiazione:

Concetto di rischio, probabilità di dose, dose singola e cumulativa, analisi funzionale impianti, fisica sanitaria (concetti). Valutazione rischi, verifica dispositivi di protezione, controllo periodico sicurezza e protezione, calcolo e misura dosi. Statistiche dosimetriche, norme di schermaggio.

Materiali di schermaggio:

Per gamma, beta, neutroni lenti e veloci. Ferro, alluminio, piombo, calcestruzzi leggeri e pesanti al ferro, al serpentino, baritico, al Boro. Coefficienti di assorbimento, di scattering, di coefficienti di Build-up, sezioni d'urto di rimozione, lunghezza di rilassamento.

Trasformazione di geometria degli schermi:

Coefficienti di attenuazione puntiforme. Sorgente piana finita, infinita, sferica. Sorgente volumetrica piana a slab, infinita, finita. Sorgente lineare finita, infinita, sorgente sferica. Materiale schermante omogeneo o disomogeneo, nel vuoto. Dose all'interno e all'esterno delle sorgenti distribuite. Diagrammi e tabelle delle principali funzioni di calcolo.

Schermaggio di reattori:

Analisi delle radiazioni uscenti — Calcolo degli schermi — Valutazioni preliminari e verifica di progetto — radiazione diretta e secondaria — Attenuazione di spettri energetici. Fattori occupazionali e dipendenza operativa.

Incidenti e analisi. Scelta del Sito:

Incidenti tecnici — Incidenti credibili — Incidenti ipotizzabili — Affidabilità dispositivi — Probabilità di incidente — Rischio di incidente — Analisi meteorologiche — Waste gassoso — Valutazioni dosi singole e globali — Analisi piani di intervento — Coefficiente di pericolosità del Sito.

Altri impianti (Cenni):

Industriali di radiosterilizzazione, radioinibizione alla germogliazione, radiostimolazione sementi, impianti X per radiodiagnostica, radioterapia, analisi macromolecolare, acceleratori di particelle, bombe al Co ed al Cs.

Esercitazioni — N. 10

Caratteristiche di un geiger — caratteristiche dei contatori proporzionali a BF_3 —

caratteristica delle camere a ionizzazione e taratura — Taratura di contatore a BF_3 e di sonda alfa — caratteristica e taratura di analizzatore multicanale — analisi qualitativa gamma con analizzatore multicanale — analisi quantitativa con il metodo del confronto.

Analisi quantitativa di sorgente piana circolare finita con taratura di efficienza radiale con spettrometria gamma. Analisi qualitativa e quantitativa di campioni di terreno e vegetali per mezzo di analizzatore multicanale.

Calcolo schermatura primaria e secondaria di un laboratorio ospedaliero di medicina nucleare.

11192

MODELLI NUMERICI PER I REATTORI NUCLEARI

Docente: **Vittorio Colombo** prof. ass.

Descrizione del corso

Il corso 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 descritti risulta finalizzata alle applicazioni tipiche della Fisica dei Reattori Nucleari, non trascurando le possibilità di applicazione ad altri settori dell'Ingegneria.

Programma

1) Metodi numerici alle differenze finite per la risoluzione delle equazioni di diffusione dei neutroni e del calore: metodi di discretizzazione spaziale ad una o 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) Applicazioni 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 equazioni agli autovalori per la formulazione integrale ed integro-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 nel caso di scattering fortemente anisotropo; «ray effect» e metodi agli elementi finiti angolari.

5) Introduzione ai metodi numerici PIC (Particle in Cell) per la simulazione dei fenomeni di scarica a bagliore in plasmi debolmente ionizzati a bassa pressione e bassa temperatura ad uso industriale («plasma etching», «reactive ion etching»): modellizzazione delle particelle cariche e delle collisioni particella carica-neutro.

6) Metodi numerici per la soluzione di equazioni alle derivate parziali dipendenti dal

tempo: schemi espliciti ed impliciti; analisi di consistenza, stabilità e convergenza; metodi a più dimensioni: direzioni alternate e metodi localmente monodimensionali; equazioni non lineari; applicazioni alle equazioni della diffusione e a quelle della convezione.

Esercitazioni

Le lezioni saranno integrate da esercitazioni teoriche ed al calcolatore per lo sviluppo di applicazioni e programmi numerici concernenti gli argomenti del corso. Parte delle esercitazioni teoriche concerne problemi tipici del calcolo numerico la cui soluzione si rende indispensabile per le applicazioni fisiche proposte: soluzione di sistemi lineari, integrazione numerica, problemi agli autovalori, ricerca di radici di equazioni, approssimazione di funzioni.

Testi consigliati:

Sono disponibili dispense fornite dal docente su tutti gli argomenti del corso.

- 1) B. MONTAGNINI, *Lezioni di Fisica del Reattore Nucleare*, Università di Pisa, 1983.
- 2) Y. RONEN, *Handbook of Nuclear Reactor Calculations*, CRC Press, Boca Raton, 1986.
- 3) C.K. BIRDSALL, A.B. LANGDON, *Plasma Physics Via Computer Simulation*, Adam Hilger, Bristol, 1991.
- 4) C.T.H. BAKER, *The Numerical Treatment of Integral Equations*, Clarendon Press, Oxford, 1978.

4140

NEUTRONICA APPLICATA

Docente: **Marco Sumini** prof. ass.

Il Corso si propone di fornire agli studenti dell'ultimo anno del Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare informazioni operative su alcune delle principali tecniche di simulazione numerica utilizzate per la modellizzazione dei fenomeni di trasporto di particelle cariche e neutre.

i) *Metodo Monte Carlo*. Richiami sui fondamenti della teoria della probabilità. Variabili aleatorie e funzioni di distribuzione. Campionamento. Tecniche per la riduzione della varianza. Applicazione al calcolo di integrali. Simulazione di sistemi stocastici. Applicazione al trasporto di fotoni. Modellizzazione dell'interazione di raggi X e γ con la materia. Confronto con la soluzione analitica dell'equazione del trasporto per i fotoni ed applicazione alle tecniche di analisi non distruttive. Applicazione a problemi di trasporto neutronico: il codice MCNP.

ii) *Metodi di simulazione Particle In Cell (PIC) per lo studio dei plasmi*. Codici elettrostatici ed elettromagnetici in geometria monodimensionale. Equazioni del moto ed equa-

zioni di campo. Analisi degli aspetti modellistici e numerici. Funzioni di distribuzione e relazioni di dispersione. Applicazione allo studio di alcuni fenomeni di instabilità nei plasmi. Estensione a più dimensioni. Accoppiamento con tecniche Monte Carlo. Applicazione allo studio dell'interazione laser-plasma.

iii) *Metodi variazionali per la costruzione di modelli numerici per la soluzione delle equazioni della diffusione e del trasporto per i neutroni.* Metodi coarse-meshes. Applicazione allo studio della dinamica spaziale dei reattori nucleari. Analisi delle tecniche numeriche connesse all'utilizzo di supercalcolatori e macchine massicciamente parallele.

Il Corso prevede esercitazioni al calcolatore per ciascuno dei punti indicati. Sono disponibili tesi di laurea sugli argomenti oggetto del corso.

Propedeuticità consigliate: Modelli Numerici per i reattori nucleari.

Testi consigliati:

Dispense fornite dal docente.

11351

PROGETTI E COSTRUZIONI NUCLEARI

Docente: **Francesco Cesari** prof. ass.

Il corso 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.

Programma del corso

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, controreazioni 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 controreazione 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.

11193

REATTORI NUCLEARI AVANZATIDocente: **Francesco Premuda** prof. ass.

Il corso 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 $n-Li_3$ o Li_3 nella neutronica degli schermi, dei reattori veloci e del breeding del trizio nei reattori a fusione. Problematiche fisiche e corrispondenti problematiche strutturali, ingegneristiche e di calcolo neutronico nei reattori veloci. I metodi di trasporto FP_N e B_N 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 degenero. 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-D₂O e determinazione dei prodotti delle fusioni.

6801

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (per Chimici e Nucleari)Docente: **Giovanni Pascale** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Chimica)

10391

SICUREZZA E ANALISI DI RISCHIODocente: **Carlo Maria Orlandelli** prof. ass.

Scopo del corso 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 ripristinabili, 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.

11194

TECNOLOGIE E APPLICAZIONI NUCLEARIDocente: **Franco G. Cesari** prof. ass.

Il corso 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-mecchaniche 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 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 impingment, 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, *Instrumentation Engineers Handbook*, Chilton Book Co., 1989.
- J.F. HARVEY, *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 (Fochi-Hudson, Riva-Calzoni, FBM, etc.) saranno integrate con incontri con tecnici ENEL a Montalto di Castro e a Caorso e (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.

1044

TECNOLOGIA DEI MATERIALI NUCLEARI

Docente: **Paolo Vestrucci** ricerc. (inc.)

Finalità del corso:

Il corso copre gli aspetti teorici ed applicativi inerenti alle proprietà ed all'impiego dei materiali per la costruzione degli impianti nucleari e ne presenta i problemi anche alla luce dei principi fondamentali della Scienza dei Materiali correlandone i meccanismi micro-strutturali con gli aspetti tecnologici di immediato significato applicativo per l'ingegnere progettista e di esercizio.

Programma

1. *Considerazioni introduttive.* Comportamento dei materiali sottoposti a sollecitazioni di varia natura - Le proprietà nucleari dei materiali - Metodi di studio e finalità del corso.
2. *I principi della scienza dei materiali nello studio delle proprietà tecnologiche.*
 - 2.1. *Aspetti termodinamici.* Richiami di termodinamica - Le trasformazioni di fase:

- studio sistematico dei casi notevoli riguardanti sistemi in fasi condensate - Diagrammi di stato complessi - Cenno ai sistemi ternari - Cenno ai sistemi sede di reazione chimica.
- 2.2. *Aspetti strutturalistici*. La struttura dei solidi - Richiami di cristallografia - Fasi solide metalliche: soluzioni solide, fasi intermedie - Cristalli reali e difetti reticolari - Vacanze e difetti di Frenkel - Dislocazioni - Meccanica delle dislocazioni - Conseguenze della presenza dei difetti reticolari nei cristalli reali: diffusione, plasticità ed incrudimento dei metalli - Bordi di grano.
- 2.3. *Aspetti cinetici*. Definizioni generali - Costanti cinetiche e loro dipendenza dalla temperatura - Processi di diffusione: leggi di Fick - Cinetica delle trasformazioni di fase liquido-solido e solido-solido - Meccanismi ricostruttivi: nucleazione e accrescimento, e non ricostruttivi: trasformazione martensitica - Segregazione, isteresi, strutture di transizione e fasi martensitiche - Diagrammi TTT.
3. *Trattamenti termici dei materiali metallici*. Definizioni e finalità - Processi di addolcimento: ricotture di omogeneizzazione, distensione, completa - Meccanismi di riassetto, ricristallizzazione, ingrossamento dei grani - Trattamenti di indurimento basati sulla trasformazione eutettoidica: tempra diretta e termale, rinvenimento, bonifica, tempra bainitica, bonifica isoterma - Trattamenti di indurimento basati sulla precipitazione da soluzione solida soprassatura; solubilizzazione, invecchiamento.
4. *Comportamento meccanico dei materiali metallici*. Deformazione elastica e plastica - Proprietà tensili - Durezza - Resilienza - Cenno ai metodi di prova - Fattori influenzanti il limite di snervamento - Fatica: aspetti teorici e fenomenologia - Curve di Wöhler e diagrammi a vita costante - Fatica oligociclica - Scorrimento a caldo: aspetti teorici e fenomenologia - Equazioni costitutive - Determinazione pratica, prove accelerate e metodi di estrapolazione.
5. *Corrosione e protezione dei materiali metallici*. Aspetti generali e definizioni - I fondamenti dei processi corrosivi a umido: richiami di elettrochimica - Aspetti stechiometrici - Aspetti termodinamici: catene galvaniche ed equazione di catena, criteri di immunità, tensioni di elettrodo - Aspetti cinetici: sovratensioni elettrodiche, curve di polarizzazione, corrente di corrosione - Passivazione e passività - Aspetti morfologici: corrosione localizzata per pitting e fessurante - Tensocorrosione - Metodi di prevenzione e protezione - Cenno ai processi corrosivi a secco.
6. *Effetto delle radiazioni sulle proprietà dei materiali*. Cenno ai principi generali ad agli aspetti fisici - Danneggiamento del reticolo cristallino e modificazione delle proprietà fisico-meccaniche dei materiali - Energia immagazzinata e suo rilascio.
7. *Proprietà e condizioni d'impiego di alcuni materiali per impianti termici e nucleari*. Acciai inossidabili - Superleghe di nickel - Leghe di zirconio - Criteri per la scelta dei materiali per il nocciolo dei reattori provati - Cenno alle unificazioni e normative internazionali.

Testi consigliati:

P.M. STROCCHI, *Tecnologia dei Materiali Nucleari*, CLUEB, Bologna, 1979.

P.M. STROCCHI, *Schede tecniche* (distribuite durante le lezioni).

Propedeuticità consigliate: Fisica, Chimica.

Esercitazioni: Vengono sviluppati argomenti complementari ed esemplificazioni ad indirizzo applicativo con risoluzione di semplici problemi.

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.

1059

TERMOTECNICA DEL REATTORE

Docente: **Enrico Lorenzini** prof. ord.

Il corso si propone di approfondire i vari aspetti della trasmissione del calore e del moto dei fluidi, per giungere ad una preliminare progettazione termica del nocciolo del reattore.

Programma

A) *Trasporto molecolare e turbolento* — Trasporto molecolare — Trasporto di materia, calore, quantità di moto — Fluidi non newtoniani — Applicazioni della teoria del trasporto molecolare allo stato non stazionario con generazione interna — Trasporto turbolento — Distribuzione delle velocità nel moto turbolento — Trasporto di calore e di materia nel moto turbolento — Analisi matematica del moto turbolento — Sviluppi fondamentali del trasporto turbolento — Lo strato limite — L'analogia di Reynolds — L'analogia di Colburn — L'analogia di Martinelli — Teoria della penetrazione.

B) *Aspetti termici nei reattori nucleari* — Generazione ed estrazione del calore nei sistemi reattoriali — Progettazione del sistema di raffreddamento — I circuiti del refrigerante — Distribuzione delle sorgenti di calore — Calore generato negli elementi di combustibile — Generazione di calore nel moderatore — Generazione di calore nel riflettore e nello schermo — Distribuzione della temperatura lungo il percorso del refrigerante — Canali di refrigerazione generalizzati — Potenza di pompaggio — Ebollizione — Sollecitazioni termiche.

C) *Scelta delle caratteristiche costruttive dei reattori.*

D) *Fattori di canale caldo.*

E) *Progettazione preliminare e calcoli relativi.*

F) *Cicli termodinamici dei reattori nucleari.*

G) *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.

H) *Energia nucleare*: economia, proliferazione, impatto ambientale, legislazione.

Testi consigliati:

LORENZINI, *Traccia delle lezioni di Termotecnica del Reattore*, Ed. Pitagora.

EL WAKIL, *Nuclear Power Engineering*, McGraw-Hill.

LORENZINI, *Ebollizione*, Ed. Pitagora.

LORENZINI, CUMO, *Energia nucleare: problemi degli anni '80*, Ed. Pàtron.

LORENZINI, SPIGA, *I fattori di canale caldo*, Ed. Pitagora.

LORENZINI, SOLA, *Introduzione alla termotecnica del reattore veloce*, Ed. Pitagora.

Propedeuticità consigliate: Fisica tecnica, Fisica del reattore nucleare.

Esami: orali: attraverso soluzione richiesta di un problema si indaga sulla conoscenza dello studente in merito ai problemi termici in generale e in particolare a quelli inerenti il reattore.

11181

TRASPORTO DI PARTICELLE E DI RADIAZIONE

Docente: **Ruben Scardovelli** prof. ass.

Descrizione del corso

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 a problemi di modellizzazione ambientale: equazione di Navier-Stokes, equazioni generali della circolazione atmosferica, diffusione di particelle passive, metodi gaussiani, fluidi multifase.

3) Applicazioni allo studio del trasporto di fotoni: processi di assorbimento, emissione e scattering, equazione del trasferimento radiativo come equazione di Boltzmann.

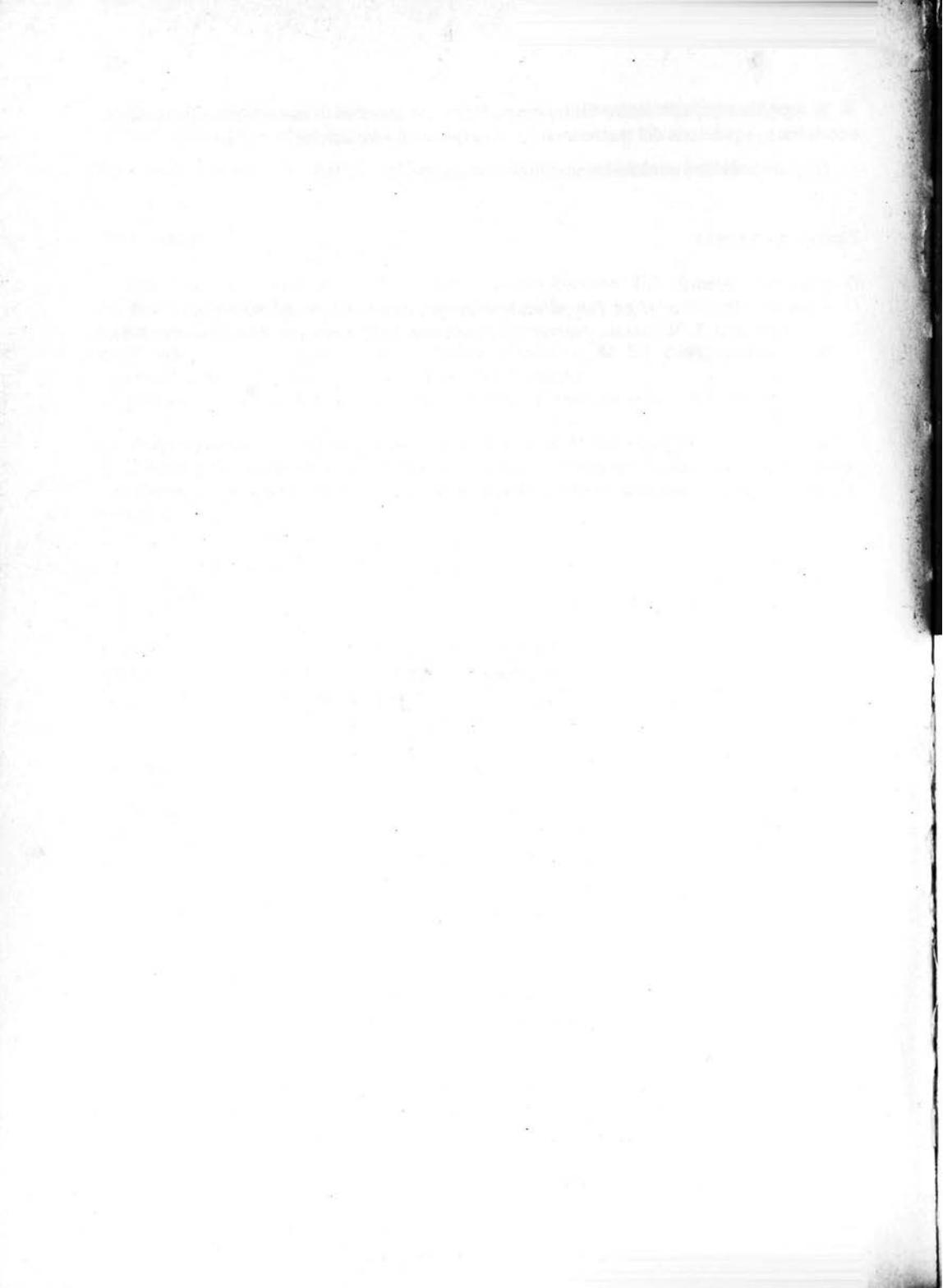
Il corso prevede esercitazioni analitiche e numeriche.

Testi di riferimento:

Dispense del Docente.

G. SCHMIDT, *Physics of High Temperature Plasmas*, Academic Press, New York, 1979.

G. HALTNER and R. WILLIAMS, *Numerical Prediction and Dynamical Meteorology*, John Wiley & Sons, 1980.



PER I GIOVANI

NUOVE IDEE **COLLEGE**

È il conto corrente speciale,
ideato per universitari e neo-
laureati dai 18 ai 29 anni, che
offre vantaggi esclusivi su
servizi e polizze assicurative.

Informati presso le filiali
ROLO BANCA 1473 della tua città.



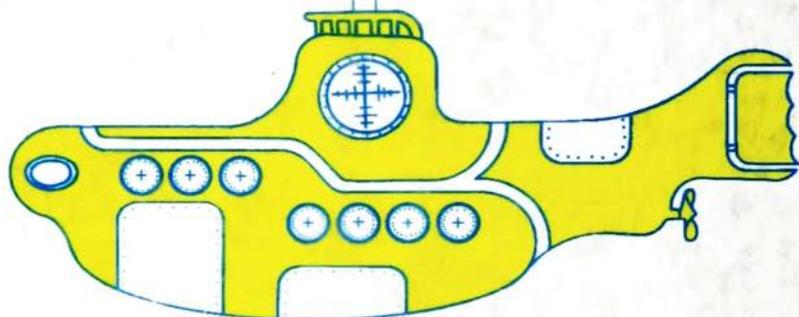
Le condizioni e i servizi descritti, sono precisate in dettaglio
alla clientela, ai sensi della legge 17 febbraio 1992, n. 154,
nel testo della Banca d'Italia.

LIBRERIA CARTOLERIA

Tel. 051/222649
226624

Via de' Castagnoli 12/A

NAUTILUS

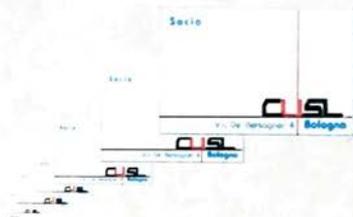


**Testi universitari
saggistica - narrativa
Ampio settore di cartoleria**

orario continuato

Lun.-Ven. 9-19,30

Sab. 9-12,30



**Solo alla Nautilus
puoi usufruire
di sconti dal 10 al 20% su
tutte le case editrici e sulla
cartoleria presentando la
tessera C.U.S.L.**

ISBN 88-8091-377-8



9 788880 913771

06135

L. 12.000