UNIVERSITA'
DEGLI STUDI
DI BOLOGNA

ANNO
ACCADEMICO
1992-1993

GUIDA DELLO STUDENTE PER LA FACOLTA' DI

INGEGNERIA

Editrice
CLUEB
Bologna

COPIE
COPIE
CENTRO COPIE MASINI

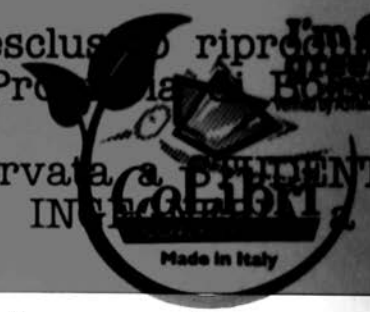
Via Barozzi, 11/b 40126 Bologna Tel. 255048 - 254098

Grandi Formati
Eliografie
Copie a Colori
Editoria Cad
Copie Duplicati
Rilegature/Finiture
Stampa
Ritiro/Consegna

Utilizzo delle tecnologie più avanzate
per disegno computerizzato:
SCANNER AO - PLOTTER A COLORI

Concessionario esclusivo riproduttore
CARTOGRAFIA Provincia di Bologna

COPIATURA riservata a STUDENTI
della Facoltà di INGEGNERIA a £. 65 cad.



Prezzi particolari riservati esclusivamente a

Io



IL 70% DEGLI ISCRITTI LASCIA L'UNIVERSITÀ DOPO 4 ANNI DI STUDI SENZA LAUREARSI

(fonte ISTAT)

PREFERISCO LAUREARMI!

LETT & MEMO

INNOVATIVE LEARNING SYSTEM

CORSO INTENSIVO DI SVILUPPO DELLE ABILITÀ DI APPRENDIMENTO

DA UNA INDAGINE EFFETTUATA SU OLTRE 100 ALLIEVI:

PER SUPERARE UN MAGGIOR NUMERO DI ESAMI!

IL NUMERO DI ESAMI SUPERATI IN UN ANNO PASSA DA 2,3 A 4,1

PER STUDIARE CON EFFICACIA ED EFFICIENZA!

LE ORE DI STUDIO PER ESAME MEDIO PASSANO DA 1140 A 660

PER AVERE UN ALTO RENDIMENTO AGLI ESAMI!

LA VOTAZIONE MEDIA AUMENTA DI DUE TRENTESIMI (da 24 a 26,1)

Con il Patrocinio delle Aziende per il Diritto allo Studio Universitario di Modena e Parma

PER INFORMAZIONI E PRENOTAZIONI

POLICONSULT

Strada Maggiore 32 - Bologna **Tel: 051. 227537 - Fax: 051. 230112**

pitagora

CARTOLERIA

Strumenti per il disegno

Testi scientifici specializzati

Materiali per la grafica

PITAGORA con le sue due cartolibrerie 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 squadrati
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 SARAGOZZA 112



GIRA IL MONDO CON...

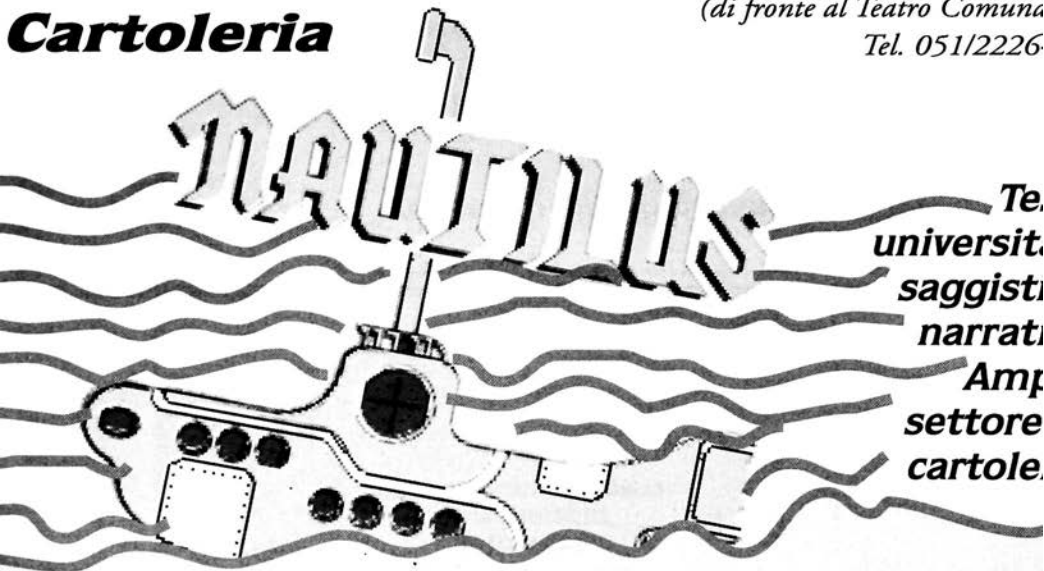
VIAGGI **fantasia**

AMERICA - CANADA - AMERICA LATINA - CARAIBI
POLINESIA E FIJI - AUSTRALIA E ISOLE DEL PACIFICO
PARIGI - LONDRA E SCOZIA
CORSI DI STUDIO IN AMERICA INGHILTERRA E IRLANDA

VIAGGI FANTASIA
VIA CASTIGLIONE 7/D - 40124 BOLOGNA
TEL. 051 - 221411 r.a.
FAX 051 / 235866 - TELEX 511816

Libreria Cartoleria

Via de' Castagnoli 12
(di fronte al Teatro Comuna
Tel. 051/2226



Te
universit
saggist
narrat
Amp
settore
cartole

CONVENZIONE **CRAL-SIP**
10% universitario
e scolastico;

CONVENZIONE **CUSL**
Sconti dal 10 al 16%
su tutte le case editrici

(n a cartoleria

È possibile fare la **tessera CUSL** dal lunedì al venerdì in via de' Bersaglieri, 4 dalle ore 9.30 alle 13.00 e dalle ore 15.30 alle ore 18.30

LIBRERIA

GALLERI

VIA IRNERIO, 27

TEL. (051) 251050

Testi universitari, saggistica, narrativa, libri per ragazzi.

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 1992-1993

Biblioteca "Gian Paolo Dore"
Alma Mater Studiorum - Università di Bologna
INV. N°. 14361

Editrice CLUEB Bologna

TORRE P. 6 AB GUIDE 1°



© 1992
Copyright by Cooperativa Libraria Universitaria Editrice Bologna
40126 Bologna - Via Marsala 24

Finito di stampare nel mese di settembre 1992 in Bologna
dalla Cooperativa Libraria Universitaria Editrice

Copertina/grafica: MC&S

INDICE

pag.

Ordinamento della Facoltà di ingegneria 7

Vecchio ordinamento della Facoltà di Ingegneria 9

Organi ufficiali della Facoltà 14
1 — Consiglio di Facoltà (Commissioni permanenti, comitati di gestione) 14
2 — Consigli di Corso di Laurea (Commissioni per i Piani di studio) 14

Strutture didattico-scientifiche 15
Dipartimenti, Istituti e insegnamenti ad essi afferenti 15
Elenco degli insegnamenti della Facoltà 22

Ordine degli Studi A.A. 1992/93 .....
1 — Calendario delle lezioni e degli esami 34
2 — Esami di laurea 34
3 — Diplomi universitari di I° livello 35
4 — Corsi di Laurea 38
A) Nuovo ordinamento 38
B) Vecchio ordinamento 50
5 — Note esplicative sui Corsi di Laurea e sugli Indirizzi di Specializzazione 71

Dati statistici 96

Normativa di Segreteria 98
1 — Immatricolazione 98
2 — Immatricolazione di stranieri e di italiani in possesso di titoli di studio stranieri 99
3 — Norme generali relative alla carriera scolastica 101
A) Validità dell'anno e attestazioni di frequenza 101
B) Corsi liberi 101
C) Esami di profitto 101
D) Esami di Laurea o Diploma. Modalità 102

pag.

4 — Norme particolari relative alla carriera scolastica nella Facoltà di Ingegneria 103

5 — Trasferimenti ad o da altre Università, o Facoltà, o Corsi di Laurea 104
A) Trasferimenti ad altra Università (congedi) 104
B) Trasferimenti da altra Università 104
C) Passaggi da altra Facoltà o Corso di Laurea presso l'Università di Bologna 104
D) Alcune norme particolari riguardanti i piani di studio degli studenti provenienti da altra Facoltà di Ingegneria o da altro corso di Laurea della Facoltà 105

6 — Piani di studio individuali 107
A) Criteri generali della Facoltà per l'applicazione delle leggi n. 910 e n. 924 107
B) Norme di massima per singoli Corsi di Laurea 108

7 — Rilascio di attestazioni 109

8 — Dispensa dalle tasse e assegno di studio 110

Programmi delle materie di insegnamento 112

1 — Corso di Laurea in Ingegneria Civile e Ingegneria Edile 112
A) Biennio propedeutico 112
B) Triennio di applicazione, materie comuni a tutte le Sezioni 123
C) Ingegneria Civile, sezione Edile 148
D) Ingegneria Civile, sezione Idraulica 180
E) Ingegneria Civile, sezione Trasporti 192

2 — Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica 198

3 — Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica e Ingegneria elettrica 242

4 — Corso di Laurea in Ingegneria Chimica 276

5 — Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria e Ingegneria per l'ambiente e il territorio 315

6 — Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica. Settore dell'informazione: Elettronica, Informatica, Telecomunicazioni 342

7 — Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare 408

NUOVO ORDINAMENTO DELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA
(15 dicembre 1989)

Art. 146

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 scientifico-culturali 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, 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 Indirizzi sottoindicati e/o in Orientamenti 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.
   (solo orientamenti)
2) Corso di Laurea in Ingegneria Civile.
   Indirizzi:
   a) Geotecnica.
   b) Idraulica.
   c) Strutture.
   d) Trasporti.
3) Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni.
   (solo orientamenti)
4) Corso di Laurea in Ingegneria Edile.
   (solo orientamenti).
5) Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica.
   Indirizzi:
   a) Automazione industriale.
   b) Energia.
6) Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica.
   Indirizzi:
   a) Biomedica.
   b) Microelettronica.
   c) Strumentazione.
7) Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale.
   (solo orientamenti)
8) Corso di Laurea in Ingegneria Informatica.
   Indirizzi:
   a) Automatica e sistemi di automazione industriale.
   b) Sistemi ed applicazioni informatici.
9) Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica.
   Indirizzi:
   a) Automazione industriale e robotica.
   b) Biomedica.
   c) Costruzioni.
   d) Energia.
   e) Materiali.
   f) Produzione.
   g) Veicoli terrestri.

10) Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare.
(solo orientamenti)

11) Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio
Indirizzi:
a) Ambiente.
b) Difesa del suolo.
c) Georisorse.
d) Geotecnologie.
e) Pianificazione e gestione territoriale.

Dell'indirizzo eventualmente seguito viene fatta menzione sul certificato di laurea.

VECCHIO ORDINAMENTO DELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA

(estratto dal D.P.R. n. 1234 del 31.10.1977; G.U. n. 209 del 27.7.1978)
in vigore dal 1 Novembre 1978

Università di Bologna
BIBLIOTECA
INGEGNERIA
BOLOGNA

La Facoltà di Ingegneria conferisce, dopo un corso di cinque anni, le seguenti lauree:

1 Ingegneria civile (Sezioni: edile, idraulica, trasporti)
2 Ingegneria meccanica
3 Ingegneria elettrotecnica
4 Ingegneria chimica
5 Ingegneria mineraria
6 Ingegneria elettronica
7 Ingegneria nucleare.

Nei primi due anni di corso saranno impartiti i seguenti insegnamenti comuni per tutti i tipi di laurea:

Analisi matematica I
Geometria
Fisica I
Chimica
Disegno
Analisi matematica II
Meccanica razionale
Fisica II

Gli insegnamenti tenuti per i singoli corsi di laurea oltre a quelli già elencati come comuni a tutti i corsi stessi durante il primo ed il secondo anno, si distinguono in:

a) obbligatori sul piano nazionale;
b) obbligatori sul piano della Facoltà;
c) a scelta per gruppi da parte degli studenti.

Gli insegnamenti stessi sono qui sotto elencati per i diversi corsi di laurea.

Due insegnamenti semestrali sono equivalenti ad un insegnamento annuale.

Laurea in ingegneria civile
(Sezione edile, idraulica, trasporti)

2° Anno:

(b) disegno II;
(b) litologia e geologia
(a) tecnologia dei materiali e chimica applicata.

Triennio di applicazione:

(a) architettura tecnica;
(a) elettrotecnica;
(a) fisica tecnica;
(a) idraulica;
(a) meccanica applicata alle macchine e macchine;
(a) scienza delle costruzioni;
(a) tecnica delle costruzioni;
(a) topografia.

Sezione edile:

(a) architettura e composizione architettonica;
(b) costruzione di strade, ferrovie e aeroporti;
(b) fondamenti di economia ed estimo;
(b) tecnica urbanistica.

Sei insegnamenti (annuali o equivalenti) a scelta dello studente, tratti da uno dei gruppi di indirizzo indicati, anno per anno, nel manifesto degli studi.

Sezione idraulica:

(b) costruzione di strade, ferrovie e aeroporti;
(a) costruzioni idrauliche;
(b) idrologia e idrografia;
(b) impianti idraulici;

(b) tecnica della progettazione idraulica.

Cinque insegnamenti (annuali o equivalenti) a scelta dello studente, tratti da uno dei gruppi di indirizzo indicati, anno per anno, nel manifesto degli studi.

Sezione trasporti:

(b) costruzione di ponti;
(a) costruzione di strade, ferrovie e aeroporti;
(b) fondamenti di economia ed estimo;
(b) tecnica ed economia dei trasporti;
(b) tecnica urbanistica.

Cinque insegnamenti (annuali o equivalenti) a scelta dello studente tratti da uno dei gruppi di indirizzo indicati, anno per anno, nel manifesto degli studi.

Laurea in ingegneria meccanica

2° Anno

(b) disegno II;
(a) chimica applicata.

Triennio di applicazione:

(b) complementi di macchine;
(a) costruzione di macchine;
(b) dinamica e controllo delle macchine a fluido;
(b) economia e organizzazione aziendale;
(a) elettrotecnica;
(a) fisica tecnica;
(a) idraulica;
(a) impianti meccanici;
(a) macchine;
(a) meccanica applicata alle macchine;
(b) macchine utensili;
(b) misure meccaniche e termiche;
(b) progetti di macchine;
(a) scienza delle costruzioni;
(a) tecnologia meccanica.

Quattro insegnamenti (annuali o equivalenti) a scelta dello studente tratti da uno dei gruppi di indirizzo indicati anno per anno, nel manifesto degli studi.

Laurea in ingegneria elettrotecnica

2° Anno

(b) calcolo numerico e programmazione;
(b) metodi di osservazione e misura.

Triennio di applicazione:

(b) controlli automatici;
(b) economia dell'ingegneria;
(a) elettronica applicata;
(a) elettrotecnica I;
(b) elettrotecnica II;
(a) fisica tecnica;
(a) idraulica;
(a) impianti elettrici;
(a) macchine;
(a) macchine elettriche;
(a) meccanica applicata alle macchine;
(a) misure elettriche;
(a) scienza delle costruzioni;
(b) tecnologie elettriche.

Cinque insegnamenti (annuali o equivalenti) a scelta dello studente, tratti da uno dei gruppi di indirizzo indicati, anno per anno, nel manifesto degli studi.

Laurea in ingegneria chimica

2° Anno:

(a) chimica applicata;
(a) chimica organica.

Triennio di applicazione:

(b) calcolo numerico e programmazione;
(a) chimica fisica;
(a) chimica industriale;
(a) elettrotecnica;
(a) fisica tecnica;
(a) impianti chimici;
(b) impianti chimici II;
(a) macchine;
(a) meccanica applicata alle macchine;
(a) principi di ingegneria chimica;
(b) principi di ingegneria chimica II;
(b) scienza dei materiali;
(a) scienza delle costruzioni;
(b) strumentazione chimica.

Cinque insegnamenti (annuali o equivalenti) a scelta dello studente, tratti da uno dei gruppi di indirizzo indicati, anno per anno, nel manifesto degli studi.

Laurea in ingegneria mineraria

2° Anno:

(a) chimica applicata;

(b) disegno II;
(b) mineralogia e petrografia.

Triennio di applicazione:

(a) arte mineraria;
(a) elettrotecnica;
(a) fisica tecnica;
(b) geofisica mineraria;
(a) geologia;
(a) giacimenti minerari;
(b) idraulica;
(a) macchine;
(a) meccanica applicata alle macchine;
(b) meccanica dei giacimenti di idrocarburi;
(b) meccanica delle rocce;
(a) scienza delle costruzioni;
(b) tecnica dei sondaggi;
(a) topografia.

Quattro insegnamenti (annuali o equivalenti) a scelta dello studente, tratti da uno dei gruppi di indirizzo indicati, anno, per anno, nel manifesto degli studi.

Laurea in ingegneria elettronica

2° Anno:

(b) calcolo numerico e programmazione;
(b) metodi di osservazione e misura.

Triennio di applicazione:

(a) campi elettromagnetici e circuiti I;
(b) complementi di matematiche;
(a) comunicazioni elettriche I;
(a) controlli automatici I;
(b) economia ed organizzazione aziendale;
(a) elettronica applicata I;
(b) elettronica applicata II;
(a) elettrotecnica I;
(a) fisica tecnica;
(a) meccanica delle macchine e macchine;
(a) misure elettriche;
(a) radiotecnica;
(b) reti logiche;
(a) scienza delle costruzioni;
(b) teoria dei sistemi.

Quattro insegnamenti (annuali o equivalenti) a scelta dello studente, tratti da uno dei gruppi di indirizzo indicati, anno per anno, nel manifesto degli studi.

Laurea in ingegneria nucleare

2° Anno:

(a) fisica atomica.

Triennio di applicazione:

(b) cinetica e controllo del reattore nucleare;
(b) elementi di ingegneria del reattore nucleare;
(a) elettronica nucleare;
(a) elettrotecnica;
(a) fisica del reattore nucleare;
(a) fisica nucleare;
(a) fisica tecnica;
(a) impianti nucleari;
(a) macchine;
(a) meccanica delle macchine;
(b) misura delle radiazioni e protezione;
(b) problemi matematici dei reattori nucleari;
(a) scienza delle costruzioni;
(b) termotecnica del reattore.

I restanti corsi per raggiungere per ogni singolo corso di laurea il numero di 29 (ventinove) insegnamenti previsto sono a scelta dello studente. Gli insegnamenti a scelta sono indicati nel seguente elenco:

Insegnamenti a scelta:

acquedotti e fognature (semestrale)
acustica applicata e illuminotecnica;
aerodinamica;
analisi dei processi chimici
analisi di sicurezza degli impianti nucleari;
analisi funzionale;
analisi numerica;
analisi sperimentale delle tensioni;
analisi strutturale con l'elaboratore elettronico;
applicazioni industriali dell'elettrotecnica;
architettura e composizione architettonica II;
automazione e organizzazione sanitaria;
bioautomatica;
biomeccanica e biomacchine;
calcolatori elettronici;
calcolo delle macchine elettriche;

calcolo delle probabilità e processi stocastici;
calcolo termomeccanico di componenti nucleari;
campi elettromagnetici e circuiti II;
caratteri distributivi degli edifici;
centrali elettriche;
chimica e tecnologia dei prodotti ceramici;
chimica fisica II;
chimica fisica dei materiali elettrici;
chimica fisica dei materiali nucleari;
chimica fisica dei polimeri;
cicli di fabbricazione;
ciclo del combustibile nucleare;
codici di calcolo per reattori nucleari;
combustibili nucleari;
complementi di arte mineraria;
complementi di costruzione di macchine;
complementi di costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti;
complementi di elettrotecnica;
complementi di idraulica;
complementi di idrologia;
complementi di impianti meccanici;
complementi di macchine elettriche;
complementi di meccanica applicata;
complementi di misure elettriche;
complementi di neutronica;
complementi di scienza delle costruzioni;
complementi di tecnica delle costruzioni;
complementi di tecnica ed economia dei trasporti;
complementi di tecnica urbanistica;
complementi di topografia;
comportamento meccanico dei materiali negli impianti nucleari;
comunicazioni elettriche;
comunicazioni elettriche II;
conservazione edilizia e tecnologia del restauro;
consolidamento dei terreni;
controlli automatici II;
controlli idraulici e pneumatici;
controllo dei processi;
costruzione di apparecchiature chimiche;
costruzione di macchine automatiche;
costruzioni aeronautiche;
costruzioni elettromeccaniche;
costruzioni marittime e fluviali;
costruzioni metalliche;
costruzioni nucleari;
costruzioni per l'industria;
difesa e conservazione del suolo;
dinamica delle strutture;
dinamica e controllo dei processi chimici;
economia dell'energia;
elementi di architettura tecnica;
elementi di fisica e di ingegneria dei plasmi;
elettroacustica;
elettronica applicata III;
elettronica industriale;
elettronica quantistica;
esercizio delle reti elettriche di energia;
fenomeni chimici e di trasporto nell'inquinamento;
fisica matematica;
fluidodinamica;
fondamenti di economica politica;
fotogrammetria;
gasdinamica;
generatori di vapore;
geoingegneria ambientale;
geotecnica (semestrale);
gestione dell'informazione;
grandi utilizzazioni dell'energia nucleare;
idraulica fluviale;
idrogeologia applicata (semestrale);
impianti chimici III;
impianti di controllo del traffico;
impianti idroelettrici e di rivalutazione dell'energia;
impianti tecnici civili;
impianti tecnici industriali;
ingegneria del territorio;
ingegneria sanitaria;
ingegneria sismica (semestrale);
istituzioni di diritto pubblico e privato (semestrale);
linguaggi di programmazione;
legislazione mineraria (semestrale);
macchine e circuiti pneumatici;
macchine ed impianti elettrici;
macchine oleodinamiche;
materiali speciali per l'elettrotecnica;
meccanica quantistica;
meccanica statistica applicata;
metallurgia e metallografia;
metodi di ottimizzazione;
microelettronica;
microonde;
misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi;
misure e modelli idraulici;
misure elettroniche;
misure e regolazione degli impianti elettrici;
motori a combustione interna;
neutronica applicata;
organizzazione della produzione;
pianificazione degli impianti meccanici;

pianificazione delle risorse idriche;
preparazione dei minerali;
principi di ingegneria chimica III;
processi chimici unitari;
processi industriali applicati all'edilizia;
produzione e trasporto degli idrocarburi;
progettazione assistita di strutture meccaniche;
progettazione automatica dei circuiti elettronici;
progettazione urbanistica;
progetti per la ristrutturazione ed il risanamento edilizio;
progetti di strutture;
progetto termomeccanico del nocciolo;
programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio;
proprietà fisiche e tecnologiche degli alti polimeri;
proprietà termodinamiche e di trasporto;
psicologia e organizzazione del lavoro;
reattori avanzati;
ricerca operativa;
scienza dei metalli;
sistemi per l'elaborazione dell'informazione;
statistica applicata;
storia dell'architettura e dell'urbanistica;
strumentazione biomedica;
strumentazione elettronica;
strumentazione e regolazione degli impianti nucleari;
strumentazione industriale;
strutture speciali (semestrale);
sviluppo e disegno degli impianti chimici;
tecnica della circolazione;
tecnica della pianificazione dei trasporti;
tecnica delle alte tensioni;
tecnica delle fondazioni (semestrale);
tecnica ed organizzazione dei cantieri;
tecniche di analisi territoriale;
tecnologia chimica del disinquinamento;
tecnologie dei materiali;
tecnologie dei materiali nucleari;
tecnologie dei sistemi di controllo;
tecnologie elettroniche;
tecnologie generali;
tecnologie speciali;
tecnologie tessili;
teoria dei sistemi e del controllo;
teoria dell'architettura;
teoria e sviluppo dei processi chimici;
trazione e propulsione;
trazione elettrica e termica;
turbomacchine.

Integrano l'elenco, ai fini della costituzione dei gruppi di indirizzo dei singoli corsi di laurea o sezioni, gli insegnamenti di tipo *(a)* e di tipo *(b)* di altri corsi di laurea o sezioni, previsti dall'art. 147. Gli insegnamenti di cui al presente articolo così come quelli di cui agli artt. 146 e 147, potranno avere svolgimento diverso per i diversi corsi di laurea, sezioni e indirizzi.

Art. 151

La Facoltà annualmente stabilirà ed indicherà, con apposito manifesto, il piano di studi specificando i gruppi di insegnamento di tipo *(c)* che saranno tenuti. Nello stesso manifesto saranno elencate le precedenze di esami ad iscrizione e di esami ad esami che dovranno essere osservate.

Art. 152

L'esame di laurea consiste nella discussione o di un progetto o di una ricerca tecnica svolti dal candidato. Le modalità per l'assegnazione e lo svolgimento del progetto e della ricerca vengono fissate dal consiglio di Facoltà.

La commissione di laurea, esaminato il progetto o la relazione della ricerca presentata dal candidato, delibera sulla ammissibilità alla discussione orale.

Art. 147

Ciascuno dei cinque anni di corso può essere articolato in due periodi didattici della durata di almeno tredici settimane ciascuno. Al termine di ogni periodo didattico e prima dell'inizio del primo semestre dell'anno accademico successivo, ha luogo una sessione di esami della durata di almeno quattro settimane.

ORGANI UFFICIALI DELLA FACOLTÀ
di cui fanno parte rappresentanti degli studenti

Consiglio di Facoltà

Il Consiglio di Facoltà è un organo collegiale di governo dell'Università e dirige la Facoltà.

Membri di diritto del C.d.F. sono i Professori di ruolo e fuori ruolo, i Professori associati, i Professori incaricati stabilizzati e, con voto consultivo, i Professori a contratto. Sono membri eletti: quattro rappresentanti dei professori incaricati non stabilizzati e degli assistenti, tre rappresentanti dei ricercatori universitari.

Alle adunanze del C.d.F. può intervenire una rappresentanza di nove studenti, con diritto di parola e di proposta sulle materie che ritengano di interesse degli studenti. Sulle loro proposte il C.d.F. è tenuto a pronunciarsi con deliberazione motivata.

Le elezioni delle rappresentanze studentesche sono indette ogni due anni con decreto rettorale; l'elettorato attivo e passivo spetta a tutti gli studenti regolarmente iscritti alla Facoltà — in corso e fuori corso — entro il 31 Dicembre. I candidati sono proposti con liste, ciascuna delle quali deve essere corredata dalle firme di 80 studenti, autenticate da un notaio o dal Segretario del Comune di Bologna.

Quali organi consultivi del Preside e del C.d.F. sui problemi di carattere generale sono istituite otto *Commissioni permanenti*: censimento, didattica, domande di studenti, edilizia, finanziamenti, personale, problemi giuridici e amministrativi, ricerca scientifica. Sono inoltre istituiti quattro *Comitati di gestione* di settori di interesse generale della Facoltà: Centro di calcolo, Officina, Servizi generali, Biblioteca e attività culturali.

Ai lavori delle Commissioni e dei Comitati possono intervenire, con diritto di parola e di proposta, rappresentanze studentesche, in ragione di due studenti per ciascuna Commissione o Comitato, designati dai rispettivi gruppi fra gli eletti, in diverse liste, membri del C.d.F.

Consigli di Corso di Laurea

Sono istituiti sette Consigli di Corso di laurea (Ing. Civile, Meccanica, Elettrica, Chimica, Mineraria, Elettronica, Nucleare) (*). Essi coordinano l'attività didattica all'interno di ciascuno dei corsi di laurea, esaminano ed approvano i piani individuali di studio degli studenti, formulano proposte al Consiglio di Facoltà ed alle Commissioni in ordine alle attività di insegnamento e di ricerca.

Sono membri di un C.C.d.L. tutti i Professori di ruolo afferenti al corso di laurea, ivi compresi i Professori a contratto. Sono membri eletti: una rappresentanza dei ricercatori e degli assistenti, non superiore ad un quinto dei docenti, un rappresentante del personale non docente, una rappresentanza di tre studenti.

(*) Sono in via di costituzione i Consigli dei Corsi di Laurea di nuova istituzione.

Partecipano altresì ai C.C.d.L., fino alla cessazione degli incarichi di insegnamento, gli incaricati stabilizzati nonché i rappresentanti degli incaricati non stabilizzati.

I rappresentanti dei ricercatori universitari e degli studenti partecipano a tutte le sedute dei C.C.d.L., ad eccezione di quelle relative a questioni concernenti la destinazione dei posti di ruolo e le persone dei professori ordinari ed associati e, qualora esistano, dei professori incaricati e degli assistenti. I rappresentanti durano in carica due anni.

All'interno dei C.C.d.L. funzionano *Commissioni per l'esame delle domande di piani di studio individuali* e delle modifiche di piani di studio, composte attualmente dai Proff.: Ing. Civile: B. Poggi, P.V. Righi, S. Artina, P. Secondini, E. D'Anna, M. Matassa, G. Matildi; Ing. Meccanica: O. Pierfederici, R. Bettocchi, G. Vassura; Ing. Elettrotecnica: L. Simoni, M. Pezzi; Ing. Chimica: L. Pentimalli, C. Stramigioli, G. Cantore; Ing. Mineraria: F. Ciancabilla, R. Mezzetti, A. Paretini; Ing. Elettronica: G. Masetti, T. Salmon Cinotti, A. Tonielli, A. Lipparini; Ing. Nucleare: F. Premuda, G. Dore, M. Spiga.

STRUTTURE DIDATTICO-SCIENTIFICHE

Dipartimenti, Istituti e insegnamenti ad essi afferenti

Dipartimento di Chimica applicata e Scienza dei materiali
Chimica
Chimica applicata
Chimica e tecnologia dei prodotti ceramici
Chimica fisica
Chimica fisica dei materiali solidi
Chimica fisica dei materiali nucleari
Chimica fisica dei polimeri (materiali polimerici)
Chimica organica
Ciclo del combustibile nucleare
Combustibili nucleari
Metallurgia e metallografia
Scienza dei materiali
Scienza e tecnologia dei materiali elettrici
Strumentazione chimica
Sviluppo e disegno degli impianti chimici
Tecnologia dei materiali e chimica applicata
Tecnologia dei materiali nucleari

Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica
Automazione e organizzazione sanitaria
Bioautomatica

Bioingegneria
Biomeccanica e biomacchine
Calcolatori elettronici
Calcolo numerico e programmazione
Campi elettromagnetici
Campi elettromagnetici e circuiti I
Campi elettromagnetici e circuiti II
Comunicazioni elettriche I
Comunicazioni elettriche II
Controlli automatici
Controlli automatici I
Controlli automatici II
Controllo dei processi
Elettronica applicata
Elettronica applicata I
Elettronica applicata II
Elettronica applicata III
Elettronica industriale
Elettronica nucleare
Elettronica quantistica
Fondamenti di informatica I
Fondamenti di informatica II
Gestione dell'informazione
Linguaggi di programmazione
Metodi di osservazione e misura
Metodi di ottimizzazione
Microelettronica
Microonde
Progettazione automatica dei circuiti elettronici
Radiotecnica
Reti logiche
Ricerca operativa
Sistemi per l'elaborazione dell'informazione
Strumentazione biomedica
Strumentazione elettronica
Teoria dei circuiti
Tecnologie dei sistemi di controllo
Teoria dei sistemi
Teoria dei sistemi e del controllo

Dipartimento di Ingegneria chimica e di processo
Impianti chimici
Impianti chimici II
Impianti chimici III
Analisi dei sistemi nell'ingegneria chimica
Analisi e simulazione dei processi chimici
Chimica industriale

Dinamica e controllo dei processi chimici
Elementi introduttivi dell'ingegneria chimica
Principi di ingegneria chimica
Principi di ingegneria chimica II
Proprietà termodinamiche e di trasporto
Tecnologia chimica del disinquinamento
Teoria e sviluppo dei processi chimici
Termodinamica dell'ingegneria chimica

Dipartimento di Ingegneria delle costruzioni meccaniche, nucleari e aeronautiche e di metallurgia
Analisi sperimentale delle tensioni
Complementi di meccanica applicata
Costruzioni aeronautiche
Complementi di costruzione di macchine
Costruzioni di apparecchiature chimiche
Costruzione di macchine
Costruzioni di macchine automatiche
Costruzioni nucleari
Disegno tecnico industriale (Elettrotecnici, Chimici, Nucleari, Ambiente)
Disegno di macchine (Meccanici)
Economia ed organizzazione aziendale (Meccanici, Minerari)
Macchine utensili
Meccanica applicata alle macchine
Meccanica delle macchine
Meccanica delle macchine e macchine
Metallurgia e metallografia
Organizzazione della produzione
Progettazione assistita di strutture meccaniche
Progetti di macchine
Scienza dei metalli
Tecnologie generali
Tecnologia meccanica
Tecnologia dei materiali

Dipartimento di Fisica
Fisica I
Fisica II
Fisica atomica
Fisica nucleare

Dipartimento di Matematica
Analisi matematica I
Analisi matematica II
Analisi matermatica III

Geometria e Algebra
Meccanica razionale

Dipartimento di Scienze Geologiche
Geologia

Dipartimento di Scienze Mineralogiche
Mineralogia e petrografia

Istituto di Architettura ed urbanistica
Architettura e composizione architettonica
Architettura tecnica
Tecnica urbanistica
Caratteri distributivi degli edifici
Complementi di tecnica urbanistica
Costruzioni per l'industria
Disegno
Elementi di architettura tecnica
Ingegneria del territorio
Processi industriali applicati all'edilizia
Progetti per la ristrutturazione ed il risanamento edilizio
Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio
Storia dell'architettura e dell'urbanistica
Tecnica ed organizzazione dei cantieri
Tecniche di analisi territoriale

Istituto di Costruzioni idrauliche
Costruzioni idrauliche
Acquedotti e fognature
Complementi di idrologia
Costruzioni marittime e fluviali
Difesa e conservazione del suolo
Idrologia e idrografia
Impianti idroelettrici e di rivalutazione dell'energia
Impianti idraulici
Pianificazione delle risorse idriche
Tecnica della progettazione idraulica

Istituto di Costruzioni di strade, ferrovie ed aeroporti
Costruzioni di strade, ferrovie ed aeroporti
Complementi di costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti
Consolidamento dei terreni
Fondamenti di economia ed estimo
Geotecnica
Istituzioni di Diritto pubblico e privato

Istituto di Elettrotecnica
Elettrotecnica
Elettrotecnica I (Principi di ing. elettrica)
Elettrotecnica II (Teoria dei circuiti)
Complementi di elettrotecnica
Calcolo delle macchine elettriche
Complementi di macchine elettriche
Costruzioni elettromeccaniche
Elementi di fisica ed ingegneria dei plasmi
Macchine e impianti elettrici
Macchine elettriche

Istituto di Elettrotecnica industriale
Applicazioni industriali dell'elettrotecnica
Centrali elettriche
Complementi di misure elettriche
Economia dell'ingegneria
Economia ed organizzazione aziendale (Elettronici)
Esercizio delle reti elettriche di energia
Impianti elettrici
Materiali speciali per l'elettrotecnica
Misure elettriche
Misure elettroniche
Misure e regolazione degli impianti elettrici
Tecnica delle alte tensioni
Tecnologie elettriche

Istituto di Fisica del reattore e Tecnologie nucleari
(Laboratorio di ingegneria nucleare di Montecuccolino)
Analisi di sicurezza degli impianti nucleari
Calcolo termomeccanico dei componenti nucleari
Fisica del reattore nucleare
Cinetica e controllo del reattore nucleare
Codici di calcolo per reattori nucleari
Complementi di neutronica
Elementi di ingegneria del reattore nucleare
Misura delle radiazioni e protezione
Problemi matematici dei reattori nucleari
Progetto termomeccanico del nocciolo
Reattori avanzati
Strumentazione e regolazione degli impianti nucleari

Istituto di Fisica tecnica
Fisica tecnica
Acustica applicata ed illuminotecnica
Impianti tecnici civili
Termotecnica del reattore

Istituto di Idraulica
Aerodinamica
Idraulica
Controlli idraulici e pneumatici
Idraulica fluviale
Ingegneria sanitaria
Misure e modelli idraulici

Istituto di Impianti meccanici e macchine speciali
Impianti meccanici
Complementi di impianti meccanici
Impianti nucleari
Impianti tecnici industriali
Pianificazione degli impianti meccanici
Strumentazione industriale

Istituto di Macchine
Macchine
Complementi di macchine
Dinamica e controllo delle macchine a fluido
Generatori di vapore
Meccanica applicata alle macchine e macchine
Misure meccaniche e termiche
Turbomacchine

Istituto di Scienza delle costruzioni
Scienza delle costruzioni
Analisi strutturale con l'elaboratore elettronico
Complementi di scienza delle costruzioni
Dinamica delle strutture
Sperimentazione dei materiali e delle strutture

Istituto di Scienze minerarie
Arte mineraria
Giacimenti minerari
Impianti mineari
Legislazione mineraria
Meccanica dei fluidi del sottosuolo
Meccanica dei giacimenti di idrocarburi
Meccanica delle rocce
Misure e controlli dei giacimenti di idrocarburi
Preparazione dei minerali
Produzione e trasporto degli idrocarburi
Tecnica dei sondaggi

Istituto di Tecnica delle costruzioni
Tecnica delle costruzioni
Complementi di tecnica delle costruzioni
Costruzioni di ponti
Costruzioni metalliche
Ingegneria sismica
Strutture speciali
Tecnica delle fondazioni

Istituto di Topografia, Geodesia e Geofisica mineraria
Complementi di topografia
Fotogrammetria
Topografia
Geofisica mineraria
Litologia e Geologia

Istituto di Trasporti
Tecnica ed economia dei trasporti
Complementi di tecnica ed economia dei trasporti
Tecnica della circolazione
Trazione elettrica e termica
Trazione e propulsione

ELENCO DEGLI INSEGNAMENTI DELLA FACOLTÀ a.a. 1992/93

Biennio propedeutico

(l'indicazione «elettronici» si riferisce agli iscritti ai Corsi di Laurea in Ing. Elettronica, Informatica e delle Telecomunicazioni)

				pag.
1349	ANALISI MATEMATICA I	(civili, edili)	P.L. Papini	112
1350	ANALISI MATEMATICA I	(meccanici A-O)	G. Dore	199
1350	ANALISI MATEMATICA I	(meccanici P-Z, nucl., ambiente)	D. Guidetti	199
1352	ANALISI MATEMATICA I	(elettronici A-E, elettr.)	S. Matarasso	343
1352	ANALISI MATEMATICA I	(elettronici F-Q)	C. Ravaglia	243
1352	ANALISI MATEMATICA I	(elettronici R-Z, chimici)	C. Pontini	343
1353	ANALISI MATEMATICA II	(civili, edili)	A. Malferrari	112
1354	ANALISI MATEMATICA II	(meccanici A-O)	E. Obrecht	199
1354	ANALISI MATEMATICA II	(meccanici P-Z, nucl., ambiente)	M. Longinetti	199
1356	ANALISI MATEMATICA II	(elettronici A-E, elettr.)	F. Nardini	345
1356	ANALISI MATEMATICA II	(elettronici F-Q)	G. Mancini	345
1354	ANALISI MATEMATICA II	(elettronici R-Z, chimici)	G. Mancini	345
6464	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	(elettrici)	L. Ambrosini G.	257
9939	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE NUMERICA	(civili, edili)	F. Sgallari	113
1357	CHIMICA	(civili, edili)	G. Milani	114
1358	CHIMICA	(meccanici A-K)	B. Fortunato	201
1358	CHIMICA	(meccanici L-Z, nucl.)	A. Munari	201
1359	CHIMICA	(elettr. amb.)	C. Berti	245
1360	CHIMICA	(chimici)	P. Manaresi	280
1361	CHIMICA	(elettronici A-D, elettr.)	F. Zignani	357
1361	CHIMICA	(elettronici E-O)	M. Poloni	357
1361	CHIMICA	(elettronici P-Z)	A. Desalvo	357
92	CHIMICA APPLICATA	(meccanici)	V. Passalacqua	202
10086	CHIMICA APPLICATA	(chimici, integrato)	L. Pentimalli	282
148	CHIMICA ORGANICA	(chimici)	L. Marchetti	288
1362	DISEGNO	(civili)	V. Valeriani	115
9758	DISEGNO TECN. IND.LE	(meccanici)	F. Persiani	211
9758	DISEGNO TECN. IND.LE	(elettr., chimici, nucl., ambiente)	G. Caligiana	249
1363	DISEGNO DI MACCHINE	(meccanici, ambiente)	M. Borghi	210
7943	ELEMENTI DI ECOLOGIA	(ambiente)	M. Grasso	318

				pag.
10086	ELEMENTI INTRODUTTIVI DELL'INGEGNERIA CHIMICA, integrato	(chimici)	F. Santarelli	291
9730	FONDAMENTI DI INFORMATICA	(meccanici A-O)	P. Mello	218
9730	FONDAMENTI DI INFORMATICA	(meccanici, chimici P-Z)	A. Chiarini	293
9730	FONDAMENTI DI INFORMATICA	(elettrici)	L. Ambrosini	257
9730	FONDAMENTI DI INFORMATICA	(nucleari, ambiente)	F. Rossi Tesi	320
7945	FONDAMENTI DI INFORMATICA I	(elettronici A-D)	A. Natali	381
7945	FONDAMENTI DI INFORMATICA I	(elettronici E-O)	R. Scalas	381
7945	FONDAMENTI DI INFORMATICA I	(elettronici P-Z)	D. Maio	381
7946	FONDAMENTI DI INFORMATICA II	(elettronici A-K)	A. Corradi	382
7946	FONDAMENTI DI INFORMATICA II	(elettronici L-Z)	G. Bellavia	382
1366	FISICA I	(civili, edili)	I. Massa	116
1367	FISICA I	(meccanici A-Q)	M. Capponi	215
1367	FISICA I	(meccanici R-Z, nucleari, ambiente)	A. Uguzzoni	215
1369	FISICA I	(elettronici A-D, elettrici)	A. Gandolfi	377
1369	FISICA I	(elettronici E-Q)	A. Uguzzoni	377
1369	FISICA I	(elettronici R-Z, chimici)	E. Verondini	377
1370	FISICA II	(civili, edili)	A. Bertin	117
1371	FISICA II	(meccanici, nucleari, ambiente)	A. Vitale	216
1372	FISICA II	(elettronici A-D, elettrotecnici)	F. Saporetti	378
1372	FISICA II	(elettronici E-Q)	F. Malaguti	378
1372	FISICA II	(elettronici R-Z, chimici)	C. Moroni	378
422	FISICA NUCLEARE	(nucleari)	V. Benzi	421
464	GEOLOGIA	(ambiente)	C. Elmi	322
464	GEOLOGIA (sem.)	(civile)	G.C. Carloni	134
465	GEOLOGIA APPLICATA	(ambiente)	G.C. Carloni	323
9757	GEOMETRIA E ALGEBRA	(civili, edili)	L. Cavalieri D'Oro	118
9757	GEOMETRIA E ALGEBRA	(meccanici A-O)	F. Bonetti	219
9757	GEOMETRIA E ALGEBRA	(meccanici P-Z, nucl., ambiente)	G. Parigi	219
9757	GEOMETRIA E ALGEBRA	(elettronici A-D, elettrici)	M. Ferri	383
9757	GEOMETRIA E ALGEBRA	(elettronici E-O)	A.L. Gilotti	383
9757	GEOMETRIA E ALGEBRA	(elettronici P-Z, chimici)	L. Pezzoli	383
1378	MECCANICA RAZIONALE	(civili, edili)	T.A. Ruggeri	120

				pag.
1379	MECCANICA RAZIONALE	(meccanici A-O)	A. Muracchini	226
1379	MECCANICA RAZIONALE	(meccanici P-Z, nucl., ambiente)	M. Fabrizio	226
1381	MECCANICA RAZIONALE	(elettronici A-E, elettrici)	P.P. Abbati Marescotti	387
1381	MECCANICA RAZIONALE	(elettronici F-Q)	A. Strumia	387
1381	MECCANICA RAZIONALE	(elettronici R-Z, chimici)	B. Lazzari	387
5725	MINERALOGIA E PETROGRAFIA	(ambiente)	R. Mezzetti	331
1043	TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA	(civili)	F. Sandrolini	121

Triennio di applicazione

(i numeri di codice tra parentesi indicano il Corso di Laurea di appartenenza per i quali si rimanda alla Nota in fondo elenco)

2006	ACQUEDOTTI E FOGNATURE (semestrale) (08)	P. Guerrini	148
5564	ACUSTICA APPLICATA E ILLUMINOTECNICA (08) (03) (10)	A. Cocchi	149
02	AERODINAMICA (02) (09)	G. Scarpi	198
10381	ALGORITMI DI OTTIMIZZAZIONE (06)	P. Toth	342
5801	ANALISI DEI SISTEMI DELL'INGEGNERIA CHIMICA (04)	G. Spadoni	276
9432	ANALISI DI SICUREZZA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI (07)	C.M. Orlandelli	432
7939	ANALISI E SIMULAZIONE DEI PROCESSI CHIMICI (04)	F. Santarelli	278
6372	ANALISI MATEMATICA III (06 A-K)	G.C. Barozzi	347
6372	ANALISI MATEMATICA III (06 L-Z)	F. Segala	347
4117	ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI (02)	A. Freddi	200
5565	ANALISI STRUTTURALE CON L'ELABORATORE ELETTRONICO (08)	A.A. Cannarozzi	150
2237	APPLICAZIONI INDUSTRIALI DELL'ELETTROTECNICA (03)	M. Loggini	242
50	ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA (08)	I. Tagliaventi	152
3870	ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA II (08)	G. Praderio	153
51	ARCHITETTURA TECNICA (08, ind. 1,2,3,8,9,10,11)	I. Tagliaventi	123
51	ARCHITETTURA TECNICA (08, ind. 4,5,6,7) (09) (10)	A.C. Dell'Acqua	124
54	ARTE MINERARIA (05)	P. Berry	315
1679	AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE SANITARIA (06)	C. Lamberti	348
10382	AZIONAMENTI ELETTRICI (02)	D. Casadei	201
7671	BIOAUTOMATICA (06 V anno)	E. Belardinelli	350
7940	BIOINGEGNERIA (06 III anno)	G. Gnudi	349
9602	BIOMECCANICA E BIOMACCHINE (06)	A. Cappello	352
10383	CALCOLATORI ELETTRONICI I (06 A-K)	G. Neri	353
10383	CALCOLATORI ELETTRONICI I (06 L-Z)	T. Salmon Cinotti	353
10384	CALCOLATORI ELETTRONICI II (06)	M. Boari	354

			pag.
81	CALCOLO DELLE MACCHINE ELETTRICHE (03)	A. Grande	243
6461	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE NUMERICA (08)	F. Sgallari	113
6462	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE (02) (04)	A. Chiarini	293
9430	CALCOLO TERMOMECCANICO DEI COMPONENTI NUCLEARI (07)	F. Cesari	408
7941	CAMPI ELETTROMAGNETICI (06 A-K)	G.C. Corazza	355
5698	CAMPI ELETTROMAGNETICI (06 L-Z)	V. Rizzoli	355
5699	CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI II (06)	P. Bassi	356
85	CARATTERI DISTRIBUTIVI DEGLI EDIFICI (08)	L. Gelsomino	154
86	CENTRALI ELETTRICHE (03)	C.A. Nucci	244
92	CHIMICA APPLICATA (05)	G. Timellini	317
115	CHIMICA E TECNOLOGIA DEI PRODOTTI CERAMICI (04)	C. Palmonari	283
122	CHIMICA FISICA (04)	P. Chiorboli	284
7942	CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI (06)	R. Colle	359
7942	CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI (07)	D. Nobili	410
5693	CHIMICA FISICA DEI MATERIALI ELETTRICI (03)	A. Motori	268
2046	CHIMICA FISICA DEI MATERIALI NUCLEARI (07)	D. Nobili	410
4123	CHIMICA FISICA DEI POLIMERI (04)	F. Pilati	299
137	CHIMICA INDUSTRIALE (04)	C. Stramigioli	286
6467	CINETICA E CONTROLLO DEL REATTORE NUCLEARE (07)	T. Trombetti	411
2826	COMBUSTIBILI NUCLEARI (07)	L. Bruzzi	423
2022	COMPLEMENTI DI COSTRUZIONE DI MACCHINE (02)	E. Dragoni	203
5797	COMPLEMENTI DI COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (08)	G. Dondi	155
2468	COMPLEMENTI DI ELETTROTECNICA (07)	I. Montanari	
6805	COMPLEMENTI DI IDROLOGIA (sem.) (08)	M. Franchini	180
8076	COMPLEMENTI DI IMPIANTI MECCANICI (02)	M. Gentilini	203
2018	COMPLEMENTI DI MACCHINE (02)	G. Minelli	204
4118	COMPLEMENTI DI MACCHINE ELETTRICHE (03)	D. Casadei	246
9241	COMPLEMENTI DI MACCHINE ELETTRICHE (03) (06)	D. Casadei	360
6472	COMPLEMENTI DI MECCANICA APPLICATA (02)	A. Maggiore	205
4122	COMPLEMENTI DI MISURE ELETTRICHE (03)	S. Pirani	
4127	COMPLEMENTI DI NEUTRONICA (07)	V. Molinari	412
2816	COMPLEMENTI DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (08)	E. D'Anna	156
2010	COMPLEMENTI DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI (civili)	C. Ceccoli	125
1956	COMPLEMENTI DI TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI (10)	G. Foresti	192
2009	COMPLEMENTI DI TECNICA URBANISTICA (08) (10)	S. Casini	158
9431	COMPLEMENTI DI TOPOGRAFIA (civili)	M. Unguendoli	126
192	COMUNICAZIONI ELETTRICHE (06 A-K)	L. Calandrino	362
192	COMUNICAZIONI ELETTRICHE (06 L-Z)	G. Immovilli	362
5700	COMUNICAZIONI ELETTRICHE II (06)	G. Corazza	394
4125	CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI (09) (10) (05)	A. Lembo Fazio	181
196	CONTROLLI AUTOMATICI (02)	G. Bertoni	207
196	CONTROLLI AUTOMATICI (03) (07)	F. Terragni	247
3694	CONTROLLI AUTOMATICI (06)	E. Sarti	363

			pag.
3694	CONTROLLI AUTOMATICI I (06 III anno)	G. Bertoni	365
3695	CONTROLLI AUTOMATICI II (06)	M. Tibaldi	366
2015	CONTROLLI IDRAULICI E PNEUMATICI (09)	A. Rubatta	182
4126	CONTROLLO DEI PROCESSI (06)	C. Bonivento	367
2030	COSTRUZIONE DI APPARECCHIATURE CHIMICHE (04)	V. Dal Re	288
201	COSTRUZIONE DI MACCHINE (02)	G. Bartolozzi	208
1384	COSTRUZIONE DI MACCHINE (07)	S. Curioni	413
5798	COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE (02)	G. Vassura	209
198	COSTRUZIONE DI PONTI (civili)	M. Merli	126
204	COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (civili A-K)	A. Bucchi	128
204	COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (civili L-Z)	P.V. Righi	128
205	COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE (03) (07)	G. Serra	248
206	COSTRUZIONI IDRAULICHE (09)	P. Guerrini	182
2014	COSTRUZIONI MARITTIME E FLUVIALI (09)	S. Pilati	184
4053	COSTRUZIONI METALLICHE (08)	G. Matildi	159
5690	COSTRUZIONI PER L'INDUSTRIA (08)	C. Comani	160
4131	DIFESA E CONSERVAZIONE DEL SUOLO (09)(08)(05)	A. Bizzarri	185
6200	DINAMICA DELLE STRUTTURE (08)	P.L. Sacchi	161
8545	DINAMICA E CONTROLLO DEI PROCESSI CHIMICI (04)	G. Pasquali	289
6468	DINAMICA E CONTROLLO DELLE MACCHINE A FLUIDO (02)	C. Bonacini	210
5694	ECONOMIA DELL'INGEGNERIA (03)	N. Luciani	250
6621	ECONOMIA ED ESTIMO CIVILE (Civile)	A. Corlaita	129
6621	ECONOMIA ED ESTIMO CIVILE (Edili)	A. Romagnoli	129
251	ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (06 A-K)	N. Luciani	369
251	ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (06 L-Z)	A. Grandi	369
9268	ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (02) (04) (05)	A. Zanoni	212
4001	ELEMENTI DI ARCHITETTURA TECNICA (08)	G. Cuppini	163
7944	ELEMENTI DI FISICA DEL REATTORE A FUSIONE E A FISSIONE (07)	V. Molinari	420
9041	ELEMENTI DI FISICA E DI INGEGNERIA DEI PLASMI (07) (03)	C.A. Borghi	415
6469	ELEMENTI DI INGEGNERIA DEL REATTORE NUCLEARE (07) (03)		416
270	ELETTRONICA APPLICATA (03)	V.A. Monaco	252
10425	ELETTRONICA APPLICATA + CONTROLLI AUTOMATICI I (07) integrato	R. Guerreri	417
10401	ELETTRONICA APPLICATA + CONTROLLI AUTOMATICI II (07) integrato	G. Basile	417
2438	ELETTRONICA APPLICATA I (06 A-D)	S. Graffi	370
2438	ELETTRONICA APPLICATA I (06 E-O)	P.U. Calzolari	370
2438	ELETTRONICA APPLICATA I (06 P-Z)	E. Sangiorgi	370
5809	ELETTRONICA APPLICATA II (06 A-K)	B. Riccò	372
5809	ELETTRONICA APPLICATA II (06 L-Z)	G. Masetti	372

			pag.
4314	ELETTRONICA APPLICATA III (06)	G. Baccarani	373
2037	ELETTRONICA INDUSTRIALE (03) (06)	F. Filicori	253
271	ELETTRONICA NUCLEARE (07)	V.A. Monaco	418
2034	ELETTRONICA QUANTISTICA (06)	M. Rudan	375
275	ELETTROTECNICA (civili A-K)	F. Filippetti	130
275	ELETTROTECNICA (civili L-Z)	R. Miglio	130
6794	ELETTROTECNICA (02)	R. Sacchetti	214
6793	ELETTROTECNICA (04) (05)	M.L. Ambrosini	292
8082	ELETTROTECNICA (07)	F. Negrini	418
277	ELETTROTECNICA I (03)	U. Reggiani	265
8082	ELETTROTECNICA (06 A-D)	F. Ciampolini	376
8082	ELETTROTECNICA (06 E-O)	P.R. Ghigi	376
8082	ELETTROTECNICA (06 P-Z)	M. Martelli Rossi	376
279	ELETTROTECNICA II (03)	R. Troili	273
7972	ENERGETICA E SISTEMI NUCLEARI (07)	M. Spiga	420
5695	ESERCIZIO DELLE RETI ELETTRICHE DI ENERGIA (03)	G. Malaman	254
409	FISICA DEL REATTORE NUCLEARE (07)	V. Molinari	420
422	FISICA NUCLEARE (07)	V. Benzi	421
430	FISICA TECNICA (civili) (05)	A. Cocchi	131
6796	FISICA TECNICA (02)	S. Salvigni	216
6797	FISICA TECNICA (03) (04) (07)	E. Zanchini	255
6798	FISICA TECNICA (06 A-D)	V. Tarabusi	379
6798	FISICA TECNICA (06 E-O)	G. Pagliarini	379
6798	FISICA TECNICA (06 P-Z)	A. Dumas	379
430	FISICA TECNICA AMBIENTALE		319
447	FONDAMENTI DI ECONOMIA ED ESTIMO (08) (10)	A. Corlaita	129
1656	FOTOGRAMMETRIA (08) (09) (10)	M. Barbarella	132
454	GEOFISICA MINERARIA (05)	G.C. Borgia	321
2007	GEOTECNICA (civili) (05)	P.V. Righi	135
5573	GESTIONE DELL'INFORMAZIONE (06)	P. Tiberio	
482	GIACIMENTI MINERARI (05)	G. Simboli	324
490	IDRAULICA (civili A-K) (05)	G.L. Bragadin	136
490	IDRAULICA (civili L-Z) (07)	A. Rubatta	136
6799	IDRAULICA (02) (03) (Meccanica dei fluidi)	A. Lamberti	
496	IDROLOGIA E IDROGRAFIA (09) (05)	E. Todini	186
501	IMPIANTI CHIMICI (04)	U. Lelli	293
502	IMPIANTI CHIMICI II (04)	G. Camera Roda	295
9042	IMPIANTI CHIMICI III (04)	C. Gostoli	296
5843	IMPIANTI ELETTRICI (03)	M. Pezzi	258
5691	IMPIANTI IDRAULICI (09)	P. Lamberti	187
515	IMPIANTI MECCANICI (02)	Se. Fabbri	220
516	IMPIANTI MINERARI (05)	Sa. Fabbri	325
517	IMPIANTI NUCLEARI (07)	E. Sobrero	422
522	IMPIANTI TECNICI CIVILI (08)	E. Tartarini	163
6541	IMPIANTI TECNICI INDUSTRIALI (02)	G. Coli	221
9043	INGEGNERIA DEL TERRITORIO (08)	R. Lugli	164
3751	INGEGNERIA SANITARIA (08) (09)	G.L. Bragadin	165
4136	INGEGNERIA SISMICA (sem.) (08)	P.P. Diotallevi	167
6463	ISTITUZIONI DI DIRITTO PUBBLICO E PRIVATO (semestrale) (08)	M. Bernardini	168

			pag.
4137	LEGISLAZIONE MINERARIA (semestrale) (05) (04)	D. Bortolotti	326
4138	LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE (06) (03)	A. Natali	384
10385	LOCALIZZAZIONE DEI SISTEMI ENERGETICI	L. Bruzzi	423
4022	MACCHINE (02)	C. Bonacini	221
8074	MACCHINE (03)	G. Negri di Montenegro	
663	MACCHINE (04) (05)	G. Cantore	298
4313	MACCHINE (07)	G. Negri di Montenegro	424
9044	MACCHINE E IMPIANTI ELETTRICI (02)	D. Casadei	222
666	MACCHINE ELETTRICHE (03)	B. Brunelli	259
670	MACCHINE UTENSILI (02 A-K)	O. Zurla	222
670	MACCHINE UTENSILI (02 L-Z)	G. Tani	222
10008	MAGNETOFLUIDODINAMICA APPLICATA	C.A. Borghi	
4123	MATERIALI POLIMERICI	F. Pilati	299
5696	MATERIALI SPECIALI PER L'ELETTROTECNICA (03)	E. Goracci	260
687	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (02)	E. Funaioli	223
8073	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (03) (04) (05)	G. Dalpiaz	261
8073	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (06)	A. Andrisano	385
10385	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (07)	A. Maggiore	425
9612	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (avanzato) (02)	U. Meneghetti	224
688	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE E MACCHINE (civili)	M. Gambini	136
4294	MECCANICA DEI FLUIDI (02)	A. Lamberti	
7947	MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO (05) (semestrale)	G. Brighenti	328
690	MECCANICA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI (05 A-K) (09)	G.L. Chierici	328
690	MECCANICA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI (05 L-Z)	G.C. Borgia	328
4114	MECCANICA DELLE ROCCE (05)	A. Paretini	330
2021	METALLURGIA E METALLOGRAFIA (04)	G. Poli	300
5701	METODI DI OTTIMIZZAZIONE (06)	P. Toth	342
5804	METODI MATEMATICI DEI REATTORI NUCLEARI (07)	T. Trombetti	426
5702	MICROELETTRONICA (06)	M. Rudan	388
2191	MICROONDE (06)	A. Lipparini	390
730	MISURA DELLE RADIAZIONI E PROTEZIONE (07)	P. Amadesi	427
731	MISURE E CONTROLLI NEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI (05)	E. Mesini	332
732	MISURE ELETTRICHE (03)	A. Burchiani	262
1386	MISURE ELETTRICHE (06 IV anno A-K)	M. Rinaldi	391
1386	MISURE ELETTRICHE (06 IV anno L-Z)	D. Mirri	391
1386	MISURE ELETTRICHE (06 V anno)	A. Menchetti	391
2126	MISURE ELETTRONICHE	D. Mirri	263
2013	MISURE E MODELLI IDRAULICI (09)	G. Scarpi	188
5697	MISURE E REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTI ELETTRICI (03)	R. Sasdelli	263
1140	MISURE MECCANICHE E TERMICHE (02)	G. Minelli	228
10386	MODELLISTICA DEI SISTEMI ELETTROMECCANICI	D. Casadei	246
4140	NEUTRONICA APPLICATA (07)	M. Sumini	430
2020	ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE (02) (06)	G. Bartolozzi	229

			pag.
6937	PIANIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI MECCANICI (02)	A. Pareschi	230
5567	PIANIFICAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE (09)	M. Ferraresi	189
10387	PIANIFICAZIONE ED ESERCIZIO DEI SISTEMI ELETTRICI PER L'ENERGIA (03)	G. Malaman	
805	PREPARAZIONE DEI MINERALI (05)	F. Ciancabilla	333
4641	PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II (04)	F.P. Foraboschi	301
10402	PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE	F.P. Foraboschi	335
7948	PRINCIPI DI INGEGNERIA ELETTRICA (03)	U. Reggiani	265
5568	PROCESSI INDUSTRIALI APPLICATI ALL'EDILIZIA (08)	F. Selva	169
816	PRODUZIONE E TRASPORTO DEGLI IDROCARBURI (05)	G. Gottardi	336
5799	PROGETTAZIONE ASSISTITA DI STRUTTURE MECCANICHE (02)	P.G. Molari	231
10388	PROGETTAZIONE AUTOMATICA PER L'ENERGIA ELETTRICA	I. Montanari	267
8078	PROGETTAZIONE URBANISTICA (08)	C. Porrino	170
818	PROGETTI DI MACCHINE (02)	A. Freddi	232
8079	PROGETTI PER LA RISTRUTTURAZIONE ED IL RISANAMENTO EDILIZIO (08)	G. Cuppini	171
5569	PROGRAMMAZIONE DELLO SVILUPPO E DELL'ASSETTO DEL TERRITORIO (08) (04)	A. Corlaita	172
10389	PROPAGAZIONE	G. Falciasecca	393
5802	PROPRIETA TERMODINAMICHE E DI TRASPORTO (04)	G.C. Sarti	303
877	RADIOTECNICA (06)	O. Andrisano	399
6806	REATTORI AVANZATI (07)	F. Premuda	431
10390	RETI DI TELECOMUNICAZIONI	G. Corazza	394
5579	RETI LOGICHE (06 A-K)	R. Laschi	395
5579	RETI LOGICHE (06 L-Z)	E. Faldella	395
884	RICERCA OPERATIVA (06) (10)	S. Martello	396
2235	SCIENZA DEI MATERIALI (04)	F. Sandrolini	305
886	SCIENZA DEI METALLI (02 II anno)	G. Poli	233
886	SCIENZA DEI METALLI (02 V anno)	G. Poli	234
890	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (civili A-K) (05)	A. Di Tommaso	137
890	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (civili L-Z)	A.A. Cannarozzi	137
6801	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (02) (03)	E. Viola	235
6801	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (04) (07)	G. Pascale	307
6802	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (06)	E. D'Anna	397
7949	SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI ELETTRICI (03)	A. Motori	268
10391	SICUREZZA E ANALISI DI RISCHIO	C.M. Orlandelli	432
10392	SISTEMI DI ELABORAZIONE	R. Rossi	398
10393	SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE	O. Andrisano	399
10409	SISTEMI ELETTRONICI DI POTENZA NEGLI IMPIANTI ELETTRICI (03)	M. Loggini	242
10394	SISTEMI INFORMATIVI I	P. Tiberio	
3980	SISTEMI PER L'ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE (06 A-K)	G. Neri	353
3980	SISTEMI PER L'ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE (06 L-Z)	T. Salmon Cinotti	353

			pag.
9239	SISTEMI PER L'ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE (avanzato) (06)	R. Rossi	398
3971	SPERIMENTAZIONE DEI MATERIALI E DELLE STRUTTURE (semestrale) (08)	A. Di Leo	173
2736	STORIA DELL'ARCHITETTURA (08)		
5570	STORIA DELL'ARCHITETTURA E DELL'URBANISTICA (08)	R. Fregna	175
4152	STRUMENTAZIONE BIOMEDICA (06)	G. Avanzolini	401
1143	STRUMENTAZIONE CHIMICA (04)	L. Marchetti	307
2044	STRUMENTAZIONE ELETTRONICA (06)	P. Olivo	402
4146	STRUMENTAZIONE INDUSTRIALE (02)	Se. Fabbri	237
6470	STRUMENTAZIONE E REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTI NUCLEARI (07)	F. Cesari	432
9046	STRUTTURE SPECIALI (sem.) (08)	M. Majowiecki	176
5819	SVILUPPO E DISEGNO DEGLI IMPIANTI CHIMICI (04)	W. Neri	308
1019	TECNICA DEI SONDAGGI (05) (09)	G. Brighenti	338
7433	TECNICA DEL CONTROLLO AMBIENTALE (05)		339
2011	TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE (10) (02) (06)	G. Praitoni	193
5705	TECNICA DELLA PROGETTAZIONE IDRAULICA (09)	S. Artina	190
4153	TECNICA DELLE ALTE TENSIONI (03)	G. Pattini	269
1026	TECNICA DELLE COSTRUZIONI (civili A-K)	C. Ceccoli	138
1026	TECNICA DELLE COSTRUZIONI (civili L-Z)	R. Alessi	138
9047	TECNICA DELLE COSTRUZIONI (05)	F. Zarri	340
2008	TECNICA DELLE FONDAZIONI (semestrale) (civili) (05)	R. Poluzzi	140
1031	TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI (10) (08) (02) (06) (03)	A. Orlandi	195
5572	TECNICA ED ORGANIZZAZIONE DEI CANTIERI (08)	C. Comani	176
1034	TECNICA URBANISTICA (08, ind. 1,2,8,9,10)	C. Monti	141
1034	TECNICA URBANISTICA (08, ind. 3,4,5,6)	G. Crocioni	141
1034	TECNICA URBANISTICA (08 ind. 7,11) (10)	G. Ronzani	143
5571	TECNICHE DI ANALISI TERRITORIALE (08)	P. Secondini	177
6529	TECNOLOGIA CHIMICA DEL DISINQUINAMENTO (04) (05) (08) (10)	A. Gatta	310
1044	TECNOLOGIA DEI MATERIALI NUCLEARI	P. Strocchi	433
1037	TECNOLOGIA MECCANICA (02)	F. Soavi	239
5574	TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO (06)	A. Tonielli	404
9269	TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO (03)	G. Marro	270
1046	TECNOLOGIE ELETTRICHE (03)	L. Simoni	271
9267	TECNOLOGIE ELETTRICHE (speciali) (03)	G.C. Montanari	272
2121	TECNOLOGIE GENERALI DEI MATERIALI (02)	D. Veschi	238
2033	TEORIA DEI CIRCUITI (03)	R. Troili	273
4115	TEORIA DEI SISTEMI (06 A-K)	R. Guidorzi	406
4115	TEORIA DEI SISTEMI (06 L-Z)	S. Beghelli	406
5692	TEORIA DEI SISTEMI E DEL CONTROLLO (civili)	G. Capitani Catelli	145
1142	TEORIA E SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI (04)	C. Stramigioli	312
7951	TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA (04)	G.C. Sarti	313
1059	TERMOTECNICA DEL REATTORE (07)	E. Lorenzini	435
1061	TOPOGRAFIA (civili A-K)	A. Gubellini	146
1061	TOPOGRAFIA (civili L-Z)	V. Achilli	146
6804	TOPOGRAFIA (05)	G. Folloni	341
5751	TRAZIONE ELETTRICA E TERMICA (03) (10)	M. Matassa	274

			pag.
2016	TRAZIONE E PROPULSIONE (10) (02)	M. Matassa	196
8081	TURBOMACCHINE (02)	R. Bettocchi	240

I Numeri di Codice riportati fra parentesi si riferiscono ai seguenti Corsi di Laurea
(vecchio e nuovo Ordinamento)

02 — Ing. Meccanica
03 — Ing. Elettrotecnica
Ing. Elettrica
04 — Ing. Chimica
05 — Ing. Mineraria
Ing. per l'Ambiente e il Territorio
06 — Ingegneria Elettronica

06 — Settore dell'informazione:
Ing. Elettronica
Ing. Informatica
Ing. Delle Telecomunciazioni
07 — Ing. Nucleare
08 — Ing. Civile, Ing. Edile, Ing. Civile sez. Edile
09 — Ing. Civile sez. Idraulica
10 — Ing. Civile sez. Trasporti

EQUIVALENZE FRA INSEGNAMENTI DEL NUOVO E DEL VECCHIO ORDINAMENTO

Nuovo ordinamento	Vecchio ordinamento
1362 Disegno	Disegno (Civili)
9758 Disegno tecnico ind.le	Disegno I (esclusi Civili)
9730 Fondamenti di informatica	Calcolo numerico e programmazione
9757 Geometria ed algebra	Geometria

INGEGNERIA CIVILE, INGEGNERIA EDILE

9939 Calcolo numerico e programmazione numerica	6461 Calcolo numerico e programmazione
6621 Economia ed estimo civile	447 Fondamenti di economia ed estimo

INGEGNERIA MECCANICA

3726 Disegno di macchine	3781 Disegno II
4294 Meccanica dei fluidi	6799 Idraulica
Macchine I	4022 Macchine
Meccanica delle vibrazioni	9612 Meccanica applicata alle macchine (avanzato)

INGEGNERIA ELETTRICA

7948 Principi di ingegneria elettrica	277 Elettrotecnica I
2033 Teoria dei circuiti	279 Elettrotecnica II
10387 Pianificazione ed esercizio dei sistemi elettrici per l'energia	5695 Esercizio delle reti elettriche di energia
10386 Modellistica dei sistemi elettromeccanici	4118 Complementi di macchine elettriche
10409 Sistemi elettronici di potenza negli impianti elettrici	2237 Applicazioni industriali dell'elettrotecnica
10388 Progettazione automatica per l'ingegneria elettrica	2468 Complementi di elettrotecnica
2121 Tecnologie generali dei materiali	2049 Tecnologie generali

INGEGNERIA CHIMICA

7939 Analisi e simulazione dei processi chimici	4641 Principi di ingegneria chimica
7951 Termodinamica dell'ing. chimica	6797 Fisica tecnica

INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

7947 Meccanica dei fluidi nel sottosuolo (semestrale)	4135 Idrogeologia applicata (semestrale)
516 Impienti minerari	9050 Complementi di arte mineraria

INGEGNERIA ELETTRONICA

6372 Analisi matematica III	189 Complementi di matematiche
7940 Bioingegneria (III anno)	7671 Bioautomatica (III anno)
7941 Campi elettromagnetici	5698 Campi elettromagnetici e circuiti I
7942 Chimica fisica dei mat. solidi	6465 Chimica fisica
192 Comunicazioni elettriche	4179 Comunicazioni elettriche I
7945 Fondamenti di informatica I	6297 Elementi di informatica
7946 Fondamenti di informatica II	9240 Programmazione dei calcolatori elettronici
10381 Algoritmi di ottimizzazione	5701 Metodi di ottimizzazione
10383 Calcolatori elettronici I	3980 Sistemi per l'elaborazione dell'informazione
10384 Calcolatori elettronici II	3716 Calcolatori elettronici
8073 Meccanica applicata alle macchine	2632 Meccanica delle macchine e macchine
10390 Reti di telecomunicazioni	5700 Comunicazioni elettriche II
10393 Sistemi di telecomunicazione	877 Radiotecnica
10394 Sistemi informativi I	5573 Gestione dell'informazione

INGEGNERIA NUCLEARE

5804 Metodi matematici per i reattori nucleari	5804 Problemi matematici dei reattori nucleari
7972 Energetica e sistemi nucleari	
10385 Localizzazione di sistemi energetici	2826 Combustibili nucleari
10008 Magnetofluidodinamica applicata	9041 Elementi di fisica ed ingegneria dei plasmi

CALENDARIO LEZIONI ANNO ACCADEMICO 1992/93

a) *Insegnamenti a svolgimento intensivo*
Gli insegnamenti vengono impartiti in due cicli di lezioni:
I ciclo: dal 12 ottobre al 27 gennaio (vacanze natalizie: 21 dicembre-6 gennaio)
II ciclo: dal 1 marzo al 5 giugno (vacanze pasquali: 8-13 aprile).

b) *Insegnamenti a svolgimento estensivo*
I anno: dal 12 ottobre al 30 aprile.
Per gli altri anni dal 26 ottobre al 27 gennaio e dal 24 febbraio al 5 giugno.
Le vacanze natalizie e pasquali sono le stesse dei corsi intensivi.

CALENDARIO ESAMI DI PROFITTO ANNO ACCADEMICO 1992/93

1) Sessione invernale anno accademico 1991/92	28 gennaio - 31 marzo 1992
2) Anticipo sessione estiva anno accademico 1992/93	28 gennaio - 31 marzo (per gli studenti che hanno frequentato il I ciclo di lezioni nel corrente anno accademico)
3) Sessione estiva	3 maggio - 31 luglio 1993
4) Sessione autunnale	3 settembre - 15 novembre 1993
5) Sessione invernale	28 gennaio - 31 marzo 1994

CALENDARIO ESAMI DI PROFITTO PER STUDENTI SENZA OBBLIGHI DI FREQUENZA

1) Sessione invernale anno accademico 1991/1992	11 gennaio - 31 marzo 1992
2) Sessione estiva	5 aprile - 31 luglio
3) Sessione autunnale	3 settembre - 18 dicembre
4) Sessione invernale	11 gennaio - 31 marzo

ESAMI DI LAUREA

Anno accademico 1991/92:
9 dicembre 1992; 17 febbraio 1993; 17 marzo 1993.
Anno accademico 1992/93:
23 giugno 1993; 14 luglio 1993; 13 ottobre 1993; 9 dicembre 1993; 16 febbraio 1994; 16 marzo 1994.

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.

DIPLOMI UNIVERSITARI DI PRIMO LIVELLO

DIPLOMA UNIVERSITARIO INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DELLE RISORSE ORIENTAMENTO IDROCARBURI				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I		Matematica 1 Fisica 1 Fondamenti di informatica Geologia		Matematica 2 Fisica 2 Chimica applicata - Chimica organica Disegno tecnico industriale Idraulica
II		Matematica 3 Elettrotecnica Scienza delle costruzioni Principi di ingegneria chimica Geofisica applicata (*)		Matematica 4 Meccanica applicata alle macchine Elettronica applicata Geotecnica - Meccanica delle rocce Tecnica dei sondaggi
III		Macchine Ingegneria dei giacimenti di idrocarburi 1 (*) Topografia Tecnica della perforazione petrolifera Ingegneria sanitaria ambientale		Energetica e sistemi nucleari Ingegneria dei giacimenti di idrocarburi 2 (*) Produzione e trasporto degli idrocarburi (*) Misure e controlli dei giacimenti di idrocarburi Economia applicata all'Ingegneria

N.B. I Corsi indicati con (*) potranno essere composti, in parte, da stages presso laboratori o impianti.

DIPLOMI UNIVERSITARI DELL'INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

I CICLO	II CICLO	III CICLO
I ANNO (comune ai 3 diplomi dell'Informazione		
Fondamenti di informatica Matematica I Fisica I	Matematica II Fisica II Elettrotecnica Reti logiche	Comunicazioni elettriche I Elettronica applicata I Elementi di automatica I
II ANNO		
Elettronica		
Matematica III Calcolatori elettronici Chimica	Elettronica applicata II Comunicazioni elettriche II Propagazione Sistemi operativi	Matematica IV Reti di telecomunicazioni Elettronica dei sistemi digitali
Telecomunicazioni		
Matematica III Calcolatori elettronici Chimica	Elettronica applicata II Comunicazioni elettriche II Propagazione Sistemi operativi	Matematica IV Reti di telecomunicazioni Antenne
Informatica e Automatica		
Matematica III Calcolatori elettronici Chimica	Elettronica applicata II Elementi di automatica II Linguaggi e traduttori Sistemi operativi	Matematica IV Reti di telecomunicazioni *Orient. Infor.*: Sistemi informativi *Orient. Autom.*: Strumentazione e misure per l'automazione
III ANNO		
Elettronica		
Economia ed organizzazione aziendale Misure elettroniche Microelettronica Campi elettromagnetici	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici Produzione e qualità Elettronica industriale Progettazione elettronica	Stage industr. o attività di lab. (2 moduli)
Telecomunicazioni		
Economia ed organizzazione aziendale Misure elettroniche Trasmissione numerica Campi elettromagnetici	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici Produzione e qualità Telematica Microonde	Stage industr. o attività di lab. (2 moduli)
Informatica e Automatica		
Economia ed organizzazione aziendale Misure elettroniche Ricerca operativa *Orient. Infor.*: Reti di calcolatori *Orient. Autom.*: Tecnologie dei sistemi di controllo	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici Produzione e qualità *Orient. Infor.*: Sistemi di elaborazione Ingegneria del software *Orient. Autom.*: Automazione industriale Elettronica industriale	*Orient Infor.*: Stage industr. o attività di lab. (2 moduli) *Orient. Autom.*: Robotica industriale Stage industr. o attività di lab. (1 modulo)

DIPLOMA IN INGEGNERIA MECCANICA PRESSO LA SEDE DI FORLÌ

I CICLO	II CICLO	III CICLO
	I ANNO	
Fondamenti di informatica **Matematica I** **Chimica** **Matematica II**	**Fisica I** **Disegno tecnico industriale** **Fisica II**	**Elettrotecnica** **Fisica tecnica I** **Meccanica applicata alle macchine**
N. esami 3	2	3
	II ANNO (schema orientativo	
Matematica III **Matematica IV** **Macchine I** **Tecnologia I**	Fisica tecnica II Idraulica **Meccanica dei materiali**	Macchine II Meccanica applicata II Impianti meccanici I
	II ANNO (schema orientativo)	
Progett. meccanica II **Ing. economico industr.** Macchine III Misure meccaniche e termiche	Tecnologie II Impianti ind. mecc. II Macchine e azion. elettrici	3 moduli a scelta *(sulla base dell'orientamento scelto)*
(I moduli in grassetto sono comuni al Corso di Diploma in Ingegneria aerospaziale)		
	3 - ORIENTAMENTI PREVISTI	
Orientamento n. 1 Controlli non distruttivi e procedure di manutenzione Affidabilità e qualità Diagnostica dei sistemi meccanici		Orientamento n. 2 Sperimentazione sulle macchine a fluido Strumentazione industriale Disegno assistito dal calcolatore

NUOVO ORDINAMENTO

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA - CODICE 2101

Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I	1351	Analisi matematica I	1368	Fisica I
	4685	Disegno tecnico industriale	1360	Chimica
			1366	Geometria ed algebra
II	1355	Analisi matematica II	10086	Chimica applicata +
	148	Chimica organica		Elementi introd. di ing. chim. (1)
	1373	Fisica II	9730	Fondamenti di informatica
			1380	Meccanica razionale
III	6793	Elettrotecnica	7939	Analisi e simulazione dei processi chimici
	6801	Scienza delle costruzioni	122	Chimica fisica
	7951	Termodinamica dell'ing. chimica	9268	Econ. e organ. aziendale
IV	501	Impianti chimici	9268	Econom. e organ. aziendale
	2235	Scienza dei materiali	4641	Principi di ing. chimica II
	663	Macchine		
		1 Materia a scelta		
V (*)	137	Chimica industriale	5801	Analisi dei sistemi dell'ingegneria chimica
	1384	Costruzioni di macchine	8545	Dinamica e controllo dei processi chimici
	502	Impianti chimici II		
		2 Materie a scelta		

(*) non attivato nell'a.a. 1992/1993

(1) Corso integrato
(2) Insegnamento mutuato dalla Facoltà di Economia e Commercio «Organizzazione aziendale (M-Z)»

ORIENTAMENTI

AMBIENTE-SICUREZZA
Principi di ingegneria chimica ambientale (IV anno, I ciclo)
Elementi di ecologia (sem.) (V anno)
Diritto dell'assetto territoriale (sem.) (V anno)
Pianificazione territoriale (V anno)

BIOTECNOLOGIE
Biochimica industriale (IV anno)
Tecnologie microbiologiche (V anno)
Impianti biochimici (V anno)

GESTIONALE
Organizzazione aziendale (IV anno) (*) (2)
Finanza aziendale (V anno)
Analisi dei sistemi dell'ingegneria chimica (V anno)

MATERIALI
Proprietà termodinamiche e di trasporto (IV anno)
Metallurgia (V anno)
Scienza e tecnologia dei materiali ceramici (V anno)
Materiali polimerici (V anno)

PROCESSI
Proprietà termodinamiche e di trasporto (IV anno)
Teoria e sviluppo dei processi chimici (V anno)
Analisi dei sistemi dell'ingegneria chimica (V anno)
Sviluppo e disegno degli impianti chimici (V anno)

NUOVO ORDINAMENTO

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE - CODICE 2102					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I	1349 1357 1362 1366 9757	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica Geometria e algebra				
II	1353 9939 6621 1370 1381 1043	Analisi matematica II Calcolo numerico e programmaz. numerica Economia ed estimo civile Fisica II Meccanica razionale Tecnologia dei materiali e chimica applicata				
III	490 890 1034 1061	Idraulica Scienza delle costruzioni Tecnica urbanistica Topografia	275 430	Elettrotecnica (sem.) Fisica tecnica (sem.)	464	Geologia (sem.)
IV (*)	51 204 206 2007 1026 1031	Architettura tecnica Costruzioni di strade, ferrovie ed aeroporti Costruzioni idrauliche Geotecnica Tecnica delle costruzioni Tecnica ed economia dei trasporti			663	Macchine (sem.)
(*) non attivato per l'a.a. 1992/1993						
V (*)		Materie di indirizzo				
(*) non attivato per l'a.a. 1992/1993						

2102 Ingegneria Civile

si articola negli indirizzi: 1) Geotecnica, 2) Idraulica, 3) Strutture, 4) Trasporti

NUOVO ORDINAMENTO

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 1369 9757	Chimica Fisica I Geometria ed algebra
II	1356 1372 9746	Analisi matematica II Fisica II Fondamenti di informatica II	8082 6798 1381	Elettrotecnica Fisica tecnica Meccanica razionale
III	6372 7681 5579	Analisi matematica III Controlli automatici Reti logiche	7941 192 2438	Campi elettromagnetici Comunicazioni elettriche Elettronica applicata I
IV (*)	10383 5809 10393	Calcolatori elettronici I Elettronica applicata II Sistemi di telecomunicazione	1386 10389 10390	Misure elettriche Propagazione Reti di telecomunicazioni
		(*) non attivato nell'a.a. 1991/1992		
V (*)	251	Economia ed organizz. aziendale Elaborazione ottica dei segnali	2191	Microonde
		3 Materie a scelta		
		(*) non attivato nell'a.a. 1992/1993		

NUOVO ORDINAMENTO

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - CODICE 2104		
Anno di corso	N. COD.	CORSI ESTENSIVI
I	1349	Analisi matematica I
	1357	Chimica
	1362	Disegno
	1366	Fisica I
	9757	Geometria ed algebra
	2736	Storia dell'architettura
II	1353	Analisi matematica II
	1370	Fisica II
	9939	Calcolo numerico e programmazione numerica
	1378	Meccanica razionale
	5570	Storia dell'architettura e dell'urbanistica
		Materia di orientamento
	3656	Disegno II
III	890	Scienza delle costruzioni
	6621	Economia ed estimo civile
	275	Elettrotecnica (semestrale)
	490	Fisica tecnica (semestrale)
	490	Idraulica
	1182	Tecnica urbanistica
		Materia di orientamento a scelta:
	10006	Caratteri distributivi e costruttivi per edifici (*per «Compositivo»*)
	4001	Elementi di architettura tecnica (*per «Tecnologico»*)
	7950	Tecniche di analisi urbane e territoriali (*per «Territoriale»*)
IV (*)	50	Architettura e composizione architettonica
	51	Architettura tecnica
	2007	Geotecnica
	1026	Tecnica delle costruzioni
	9235	Tecnica urbanistica II
		(*) non attivato nell'a.a. 1992/1993
V (*)	3780	Architettura e composizione architettonica II
	2214	Architettura tecnica II
	10007	Progetti per il risanamento ed il recupero edilizio
	1043	Tecnologia dei materiali e chimica applicata
		2 Materie di orientamento a scelta
		(*) non attivato nell'a.a. 1992/1993

NUOVO ORDINAMENTO

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE (a regime) - CODICE 2104					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I	1349 1357 1362 1366 9757 2736	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica Geometria e algebra Storia dell'Architettura				
II	1353 1370 1381 5570	Analisi matematica II Calcolo numerico e programmaz. numerica Fisica II Meccanica razionale Storia dell'Architettura e dell'Urbanistica *Materia dell'orientamento scelto*; per «compositivo», «tecnologico», «territoriale» è Disegno II				
III	 430 890 1034	Elettrotecnica Economia ed estimo civile Fisica tecnica Scienza delle costruzioni Tecnica urbanistica *Materia dell'orientamento scelto* — «compositivo»: Caratteri distributivi e costruttivi degli edifici — «tecnologico»: Elementi di architettura tecnica — «territoriale»: Tecniche di anal. urbane e territoriali	490	Idraulica		
IV		Architettura e composiz. architettonica Architettura tecnica Geotecnica Tecnica delle costruzioni Tecnica urbanistica II				
V		Architettura e composiz. architettonica II Architettura tecnica II Progetti per il risanamento e il recupero edilizio Tecnologia dei materiali e Chimica applciata *Materia dell'orient. scelto* *Materia dell'orient. scelto*				

NUOVO ORDINAMENTO

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 7948 8075	Fisica tecnica Principi di ingegneria elettrica Scienza delle costruzioni	8074 8073 2033	Macchine Meccanica applicata alle macchine Teoria dei circuiti
IV	270 5843 666	Elettronica applicata Impianti elettrici Macchine elettriche	196 732	Controlli automatici Misure elettriche Pianificazione ed esercizio del sist. elettr. per l'energia *(indirizzo ENERGIA)* *oppure* Sistemi elettron. di potenza negli impianti elettrici *(indirizzo AUTOMAZIONE)* *Materia a scelta*
V (*)		Economia appl. all'ingegneria Ingegneria deimateriali elettr. Azionamenti elettrici *(indirizzo ENERGIA)* oppure Elettronica industriale *(indirizzo AUTOMAZIONE)*		Tecnica delle alte tensioni *(indirizzo ENERGIA)* oppure Automazione industriale *(indirizzo AUTOMAZIONE INDUSTRIALE)* *3 Materie di indirizzo a scelta*

(*) non attivato nell'a.a. 1992/1993

Una materia di orientamento a scelta fra:

— Modellistica dei sistemi elettromeccanici
— Pianif. ed esercizio dei sist. elettrici per l'energia (ind. AUTOMAZIONE INDUSTRIALE)
— Sistemi elettronici di potenza negli impianti elettrici (ind. ENERGIA)
— Tecnologie generali dei materiali
— Economia politica
— Progettazione automatica per l'ingegneria elettrica

NUOVO ORDINAMENTO

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - CODICE 2106				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
PIANO DI STUDI SENZA SCELTA DELL'INDIRIZZO				
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 3694 5579	Analisi matematica III Controlli automatici Reti logiche	7941 192 2438	Campi elettromagnetici Comunicazioni elettriche Elettronica applicata I
IV	10383 5809 10393	Calcolatori elettronici I Elettronica applicata II Sistemi di telecomunicazione	10384 5702 1386 7941	Calcolatori elettronici II Microelettronica Misure elettriche Campi elettromagnetici (1)
V (*)		non attivato nell'a.a. 1992/1993		
ORIENTAMENTI: BIOINGEGNERIA, CALCOLATORI ELETTRONICI, COMUNICAZIONI ELETTRICHE, CONTROLLI AUTOMATICI				
PIANI DI STUDI CON SCELTA DI UN INDIRIZZO				
Insegnamenti comuni				
I	1352 7945	Analisi matematica I Fondamenti di informatica I	1361 1369 9757	Chimica Fisica I Geometria e Algebra
II	1356 1372 7946	Analisi matematica II Fisica II Fondamenti di informatica II	8082 6798 1381	Elettrotecnica Fisica tecnica Meccanica razionale
III	6372 3694 5579	Analisi matematica III Controlli automatici Reti logiche	192 2438	Comunicazioni elettriche Elettronica applicata I
IV	10383 5809	Calcolatori elettronici I Elettronica applicata II	7941 1386	Campi elettromagnetici Misure elettriche
INDIRIZZO BIOMEDICA				
III			7940	Bioingegneria I
IV	9602	Biomeccanica e biomacchine	4152	Strumentazione biomedica
INDIRIZZO MICROELETTRONICA				
III			7942	Chimica fisica dei materiali solidi
IV	2034	Elettronica quantistica	5702	Microelettronica

NUOVO ORDINAMENTO

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA INFORMATICA - CODICE 2108				
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 9730	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	2439	Calcolatori elettronici I Elettronica applicata II	1386	Misure elettriche Ricerca operativa *2 Materie di indirizzo a scelta*
V (*)	9268	Economia ed organizz. aziendale		*5 Materie a scelta*

(*) non attivato nell'a.a. 1992/1993

INDIRIZZI:

AUTOMATICA E SISTEMI DI AUTOMAZIONE INDUSTRIALE
4126 Controllo dei processi (IV)
8073 Meccanica applicata alle macchine

SISTEMI ED APPLICAZIONI INFORMATICI
Sistemi informativi I (IV)
Calcolatori elettronici II (IV)

GESTIONALE
Sistemi informativi I
Algoritmi di ottimizzazione

NUOVO ORDINAMENTO

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	1350 1371 92 3726 886	Analisi matematica II Fisica II *una materia a scelta fra:* Chimica applicata Disegno di macchine Scienza dei metalli	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	196 201 1140	Controlli automatici Costruzioni di macchine Misure meccaniche e termiche	9268 670 9730	Economia e organizz. aziend. Macchine I Macchine utensili Fondamenti di informatica
		+ nessuna o una Materia a scelta		
V (*)		Impianti meccanici		*5 o 6 Materie a scelta*

(*) non attivato nell'a.a. 1992/1993

ORIENTAMENTI

1) AUTOMAZIONE INDUSTRIALE E ROBOTICA

Meccanica dei robot (IV)
Meccanica delle vibrazioni (IV)
Macchine II
Costruz. di macch. autom. e robot
Logistica industriale
Azionamenti elettrici (IV)

più una annualità a scelta fra le seguenti

Progettaz. assistita di strutture meccaniche
Organizz. della produz. e dei sistemi logistici
Disegno di macchine (II)
Chimica applicata (II)
Scienza dei metalli (II)
Oleodinamica e pneumatica

2) BIOMEDICA

Macchine II
Meccanica dei robot (IV)
Bioingegneria elettronica
Costruz. di macch. autom. e robot
Disegno di macchine (II)
Bioingegneria meccanica

più una annualità a scelta fra le seguenti

Chimica applicata (II), Scienza dei metalli (II), Azionamenti elettrici (IV)

3) COSTRUZIONI

Macchine II
Meccanica delle vibrazioni (IV)
Costruzione dimacchine autom. e robot
Analisi sperimentale delle tensioni
Progettaz. assistita di strutture mecc.
Disegno di macchine (II)

più una annualità a scelta fra le seguenti

Aerodinamica (IV), Costruzioni aeronautiche, Chimica applicata (II), Scienza dei metalli (II), Azionamenti elettrici (IV)

4) ENERGIA

Macchine II
Dinamica e controllo delle macchine
Analisi sperimentale delle tensioni
Turbomacchine
Impianti industriali
Chimica applicata (II)

più una annualità a scelta fra le seguenti

Motori a combustione interna, Meccanica delle vibrazioni (IV), Oleodinamica e pneumatica, Energetica applicata, Termotecnica del reattore, Disegno di macchine (II), Scienza dei metalli (II)

5) MATERIALI

Analisi sperimentale delle tensioni
Progettaz. assistita di strutture meccaniche
Tecnologie generali dei materiali
Macchine II
Scienza dei metalli (II)
Chimica applicata (II)

più una annualità a scelta fra le seguenti

Impianti speciali, Scienza dei materiali, Disegno di macchine (II), Azionamenti elettrici (IV)

6) PRODUZIONE

Costruzione di macchine autom. e robot
Tecnologie generali dei materiali
Servizi generali di impianto
Machine II
Impianti industriali
Impianti speciali

più una annualità a scelta fra le seguenti

Meccanica dei robot (IV), Meccanica delle vibrazioni (IV), Progettazione assistita di strutture meccaniche, Strumentazione industriale, Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici, Disegno di macchine (II), Chimica applicata (II), Scienza dei metalli (II), Azionamenti elettrici (IV)

7) VEICOLI TERRESTRI

Tecnica ed economia dei trasporti (IV)
Progettazione di sistemi di trasporto
Progettaz. assistita di strutture meccaniche
Motori a combustione interna
Meccanica delle vibrazioni (IV)
Macchine II

più una annualità a scelta fra le seguenti

Aerodinamica (IV), Sistemi di trazione, Disegno di macchine (II), Logistica industriale, Chimica applicata (II), Scienza dei metalli (II), Azionamenti elettrici (IV)

8) AERONAUTICA

Aerodinamica (IV)
Costruzioni aeronautiche
Macchine II
Analisi sperimentale delle tensioni
Turbomacchine
Progettazione di sistemi di trasporto
Trasporti aerei (tecnica ed economia dei trasporti
Meccanica delle vibrazioni
Tecnologie generali dei materiali
Disegno di macchine
Chimica applicata
Scienza dei metalli

NUOVO ORDINAMENTO

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE - CODICE 2110

Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I	1351 9758	Analisi matematica I Disegno tecnico industriale	1359 1368 9757	Chimica Fisica I Geometria ed algebra
II	1354 1371	Analisi matematica II Fisica II	422 9730 1380	Fisica nucleare Fondamenti di informatica Meccanica razionale
III	8082 6796 6801	Elettrotecnica Fisica tecnica Scienza delle costruzioni	270 196 1385 5804	Elettronica applicata + Controlli automatici I (1) Meccanica applicata alle macchine Metodi matematici per i reattori nucleari
IV	1384 7944	Costruzioni di macchine Elementi di fisica dei reattori a fissione e a fusione	196 270 9268	Controlli Automatici I Elettronica applicata + Economia ed organ. aziend. Macchine
		+ due materie di orientamento a scelta		
V (*)	517 1059	Impianti nucleari Termotecnica del reattore	739	Misura delle radiazioni e protezione
		+ tre materie di orientamento a scelta		

(*) non attivato nell'a.a. 1992/1993

1. Corso integrato.

	I CICLO		II CICLO
	1) IMPIANTISTICO-COSTRUTTIVO		
7942	Chimica fisica dei materiali solidi (IV)	10391	Sicurezza e analisi di rischio (VI)
10385	Localizzazione di sistemi energetici (IV)	1043	Tecnologia deimateriali nucleari (IV)
10388	Progettaz. autom. per l'ingegneria elettrica (IV)	9430	Calcolo termomecc. di componenti nucleari (V)
		7972	Energetica e sistemi nucleari (V)
		205	Costruzioni elettromeccaniche (V)
		6470	Strumentazione e regolazione degli impianti nucleari (V)
		4117	Analisi sperimen. delle tensioni (V)
	2) NEUTRONICA-PLASMI		
7942	Chimica fisica dei materiali solidi (IV)	10401	Controlli automatici ed Elettronica applicata II (IV)
10385	Localizzazione dei sistemi energetici (IV)		
10008	Magnetofluidodinamica applicata (V)	4140	Neutronica applicata (V)
6806	Reattori avanzati (V)		

NUOVO ORDINAMENTO

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
II	1353 1370	Analisi matematica II Fisica II Chimica applicata (sem.)	9730 1378 464 7943	Fondamenti di informatica Meccanica razionale Geologia Elementi di ecologia (sem.)
III	890 490 6793 430 92	Scienza delle costruzioni (*estensivo*) Idraulica Elettrotecnica (sem.) Fisica tecnica (sem.) Chimica applicata (sem.) (2)	663 9268 7943	Meccanica applicata alle macchine + Macchine *(Corso integrato)* Econom. ed organiz. aziend. (4) Elementi di ecologia (sem.) (2)
		Una o nessuna Materia di indirizzo a scelta		
IV (*)		*6 Materie (obbligatorie e di indirizzo) da definire* (*) non attivato nell'a.a. 1992/1993		
V (*)		*6 Materie (obbligatorie e di indirizzo) da definire* (*) non attivato nell'a.a. 1992/1993		
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE				
1. AMBIENTE				
			279 7433	Elettrotecnica II (sem.) (III) Tecnica del controllo ambientale (III) (sem.)
2. DIFESA DEL SUOLO				
				Pianif. territoriale (sem.) Modellistica e controllo del sistema ambientale (sem.)
3. GEORISORSE				
	5725	Mineralogia e petrograf. (III) (3)		
4. GEOTECNOLOGIE				
	5725	Mineralogia e petrografia (III) (3)		
4. PIANIFICAZIONE E GESTIONE TERRITORIALE				

(1) Sostituibile a richiesta da «Disegno» nell'indirizzo «Pianificazione e gestione territoriale».
(2) Solo per gli studenti che non abbiano già ottenute le frequenze di «Elementi di ecologia» (annuale) o di «Chimica applicata» (annuale).
(3) Solo per glis tudenti che non ne abbiano già ottenuta l'attestazione di frequenza.
(4) Sostituibile a richiesta da «Economia ed estimo civile» nell'indirizzo «Pianificazione e gestione territoriale».

VECCHIO ORDINAMENTO
PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (SEZ. EDILE) - COD. 2008					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
IV	51 1026 1034	Architettura tecnica Tecnica delle costruzioni Tecnica urbanistica	688	Meccanica applicata alle macchine e macchine	447	Fondamenti di economia ed estimo
	Una materia dell'indirizzo di specializzazione scelto					
V	50 204	Architettura e composizione architettonica Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti				
	Quattro materie dell'indirizzo di specializzazione scelto					
	1. Indirizzo Architettura A					
	85 3870 8079	Caratteri distributivi degli edifici (IV) Architettura e composizione architettonica II (V) Progetti per la ristrutturazione ed il risanamento edilizio (V)			9431 5568	Complementi di topografia (V) Processi industriali applicati all'edilizia (V)
	2. Indirizzo Architettura B					
	85 3870 2009	Caratteri distributivi degli edifici (IV) Architettura e composizione architettonica II (V) Complementi di tecnica urbanistica (V)	5690	Costruzioni per l'industria (V)	1656 9431 5568	Fotogrammetria (VI) Complementi di topografia (V) Processi industriali applicati all'edilizia (V)
	3. Indirizzo Architettura C					
	5570 5572 8079	Storia dell'architettura e dell'urbanistica (IV) Tecnica ed organizzazione dei cantieri (V) Progetti per la ristrutturazione ed il risanamento edilizio (V)	5690	Costruzioni per l'industria (V)	9431 5568	Complementi di topografia (V) Processi industriali applicati all'edilizia (V)

(*segue*)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (SEZ. EDILE) - COD. 2008					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
	4. Indirizzo Architettura D					
	8079	Progetti per la ristrutturazione ed il risanamento edilizio (V) (a)	6463	Istituzioni di diritto pubblico e privato (sem.) (IV)	2006	Acquedotti e fognature (sem.) (IV)
	5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V) (b)	5690	Costruzioni per l'industria (V)	1656	Fotogrammetria (IV)
	5571	Tecniche di analisi territoriale (V) (b)			9431	Complementi di topografia (V)
	5572	Tecnica ed organizzazione dei cantieri (V)			5568	Processi industriali applicati all'edilizia (V) (a)
	5. Indirizzo Territorio A					
	85	Caratteri distributivi degli edifici (IV)			1656	Fotogrammetria (IV)
	2009	Complementi di tecnica urbanistica (V)			9431	Complementi di topografia (V)
	5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)				
	5571	Tecniche di analisi territoriale (V)				
	6. Indirizzo Territorio B					
	2009	Complementi di tecnica urbanistica (V)	6463	Istituzioni di diritto pubblico e privato (sem.) (IV) (a)	2006	Acquedotti e fognature (sem.) (IV) (a)
	5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)	1031	Tecnica ed economia dei trasporti (IV) (a)	1656	Fotogrammetria (IV) (a)
	5571	Tecniche di analisi territoriale (V)	4131	Difesa e conservazione del suolo (V) (b)	9043	Ingegneria del territorio (V) (b)
					9431	Complementi di topografia
	7. Indirizzo Ambiente					
	3751	Ingegneria sanitaria (V)	5564	Acustica applicata e illuminotecnica (V)	1656	Fotogrammetria (IV)
	5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)	4131	Difesa e conservazione del suolo (V)		
	5571	Tecniche di analisi territoriale (V)	6529	Tecnologia chimica del disinquinamento (V)		

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (SEZ. EDILE) - COD. 2008					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
	8. Indirizzo Costruzioni A					
	5565	Analisi strutturale con elaboratore elettronico (V)	2007	Geotecnica (sem.) (V) (3)	6200	Dinamica delle strutture (IV)
	2010	Complementi di tecnica delle costruzioni (V)	4136	Ingegneria sismica (sem.) (V)	2816	Complementi di scienza delle costruzioni (IV)
	198	Costruzione di ponti (V)	3971	Sperimentazione dei materiali e delle strutture (sem.) (V)	2007	Geotecnica (sem.) (V)
	4053	Costruzioni metalliche (V)			2008	Tecnica delle fondazioni (sem.) (V)
					9046	Strutture speciali (sem.) (V)
	9. Indirizzo Costruzioni B					
	198	Costruzione di ponti (V)	2007	Geotecnica (sem.) (V) (3)	6200	Dinamica delle strutture (IV) (a)
	2010	Complementi di tecnica delle costruzioni (V)	4136	Ingegneria sismica (sem.) (V)	2816	Complementi di scienza delle costruzioni (IV) (a)
	4053	Costruzioni metalliche (V)			2007	Geotecnica (sem.) (V)
	5565	Analisi strutturale con elaboratore elettronico (V)			9431	Complementi di topografia (V)
					2008	Tecnica delle fondazioni (sem.) (V)
					9046	Strutture speciali (sem.) (V)
	10. Indirizzo Costruzioni C					
	2010	Complementi di tecnica delle costruzioni (V)	2007	Geotecnica (sem.) (V) (3)	2816	Complementi di scienza delle costruzioni (IV) (a)
	5572	Tecnica ed organizzazione dei cantieri (V)	4136	Ingegneria sismica (sem.) (V)	6200	Dinamica delle strutture (IV)
			3971	Sperimentazione dei materiali e delle strutture (sem.) (V)	2007	Geotecnica (sem.) (V)
					9431	Complementi di topografia (V)
					5568	Processi industriali applicati all'edilizia (V)
					9046	Strutture speciali (sem.) (V)
					2008	Tecnica delle fondazioni (sem.) (V)

(*segue*)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (SEZ. EDILE) - COD. 2008					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
	11. Indirizzo Impianti					
	4001	Elementi di architettura tecnica (III)	6463	Istituzioni di diritto pubblico e privato (sem.) (IV)	2006	Acquedotti e fognature (sem.) (IV)
	2009	Complementi di tecnica urbanistica (V)	5564	Acustica applicata e illuminotecnica (V)	9431	Complementi di topografia (V)
	522	Impianti tecnici civili (V)				
	5572	Tecnica ed organizzazione dei cantieri (V)				

1. Il numero complessivo degli insegnamenti è di 29 annualità. Due insegnamenti semestrali sono equivalenti ad un insegnamento annuale.
2. I numeri romani fra parentesi indicano l'anno o gli anni di corso in cui l'insegnamento può essere inserito nel piano di studi.
3. L'insegnamento «2007 Geotecnica (sem.)» tenuto al I ciclo vale come semestrale; l'insieme dei due insegnamenti «Geotecnica (sem.)» tenuti al I e al II ciclo valgono come insegnamento annuale.
(a)-(b) Nell'ambito dell'indirizzo scelto lo studente può optare per uno dei due insegnamenti (a) ed uno dei due insegnamenti (b); fermo restando quanto previsto al punto 1.

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (SEZ. IDRAULICA) - COD. 2009					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
IV	51 206 1026	Architettura tecnica Costruzioni idrauliche Tecnica delle costruzioni	688	Meccanica applicata alle macchine e macchine		
	Due materie dell'indirizzo di specializzazione scelto (*)					
V	204 5691 5705	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti Impianti idraulici Tecnica della progettazione idraulica				
	Tre materie dell'indirizzo di specializzazione scelto					
	1. Indirizzo Costruzioni					
	2014 2010 198	Costruzioni marittime e fluviali (IV) Complementi di tecnica delle costruzioni (V) Costruzione di ponti (V)	2007 4131	Geotecnica (sem.) (IV) (3) Difesa e conservazione del suolo (V)	2007 2008 9431	Geotecnica (sem.) (IV) Tecnica delle fondazioni (sem.) (V) Complementi di topografia (V)
	2. Indirizzo Idraulica teorica					
			2015 2013	Controlli idraulici e pneumatici (V) Misure e modelli idraulici (V)	2 690	Aerodinamica (V) Meccanica dei giacimenti di idrocarburi (IV)
	3. Indirizzo Impiantistico					
	522	Impianti tecnici civili (V)	2015 2013	Controlli idraulici e pneumatici (V) Misure e modelli idraulici (V)	 1019	 Tecnica dei sondaggi (IV)
	4. Indirizzo Territorio					
	5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)	4121 5692 6805 4131	Consolidamento dei terreni (IV) Teoria dei sistemi e del controllo (IV) Complementi di idrologia (sem.) (V) Difesa e conservazione del suolo (V)	1656 5567 9431	Fotogrammetria (IV) Pianificazione delle risorse idriche (sem.) (V) Complementi di topografia (V)

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (SEZ. IDRAULICA) - COD. 2009					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
	5. Indirizzo Ambiente					
	3751 5569	Ingegneria sanitaria (V) Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)	5692 6805 4131 2013	Teoria dei sistemi e del controllo (IV) Complementi di idrologia (sem.) (V) Difesa e conservazione del suolo (V) Misure e modelli idraulici (V)	1656 5567	Fotogrammetria (IV) Pianificazione delle risorse idriche (sem.) (V)

1. Il numero complessivo degli insegnamenti è di 29 annualità. Due insegnamenti semestrali sono equivalenti ad uno annuale.
2. I numeri romani fra parentesi indicano l'anno o gli anni di corso in cui l'insegnamento può essere inserito nel piano di studi.
3. V. nota pag. 50.

(*) Per l'indirizzo costruzioni: una materia annuale e due semestrali. Per gli indirizzi Idraulica teorica e Impiantistica la seconda materia del IV anno può essere scelta fra le materie di indirizzo del Corso di Laurea in Ingegneria Civile.

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1991-92

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (SEZ. TRASPORTI) - COD. 2010					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
	51 1026 1034	Architettura tecnica Tecnica delle costruzioni Tecnica urbanistica	688 1031	Meccanica applicata alle macchine e macchine Tecnica ed economia dei trasporti		
	Una materia dell'indirizzo di specializzazione scelto					
	198 204	Costruzione di ponti Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti			447	Fondamenti di economia ed estimo
	Tre materie dell'indirizzo di specializzazione scelto					
	1. Indirizzo Costruzioni					
	2010	Complementi di tecnica delle costruzioni (V)	4125 2007	Consolidamento dei terreni Geotecnica (sem.) (V) (3)	2011 5797 1956 9431 2007 2008	Tecnica della circolazione (IV) Complementi di costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti (V) Complementi di tecnica ed economia dei trasporti (V) Complementi di topografia (V) Geotecnica (sem.) (V) Tecnica delle fondazioni (sem.) (V)
	2. Indirizzo Territorio					
	2009 2014	Complementi di tecnica urbanistica (V) Costruzioni marittime e fluviali (V)			1656 2011 1956 9431	Fotogrammetria (IV) Tecnica della circolazione (IV) Complementi di tecnica ed economia dei trasporti (V) Complementi di topografia (V)
	3. Indirizzo Ambiente					
	5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)	5564 6529 2016	Acustica applicata e illuminotecnica (V) Tecnologia chimica del disinquinamento (V) Trazione e propulsione (V)	1656 2011	Fotogrammetria (IV) Tecnica della circolazione (IV)

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (SEZ. TRASPORTI) - COD. 2010					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
	4. Indirizzo Trazione					
			2016	Trazione e propulsione (V)	2011 02 1956 5751	Tecnica della circolazione (IV) Aerodinamica (V) Complementi di tecnica ed economia dei trasporti (V) Trazione elettrica e termica
	5. Indirizzo Gestione					
	5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)	5694	Economia dell'ingegneria (V)	1656 2011 1956 9268	Fotogrammetria (IV) Tecnica della circolazione (IV) Complementi di tecnica ed economia dei trasporti (V) Economia ed organizzazione aziendale (V)

1. Il numero complessivo degli insegnamenti è di 29 annualità. Due insegnamenti semestrali sono equivalenti ad uno annuale.
2. I numeri romani fra parentesi indicano l'anno o gli anni di corso in cui l'insegnamento può essere inserito nel piano di studi.
3. V. nota pag. 50.

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA - COD. 2002

Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
IV	201 1140	Costruzione di macchine Misure meccaniche e termiche	9268 4022 670	Economia ed organizzazione aziendale Macchine (1) Macchine utensili
	Una o due materie dell'indirizzo di specializzazione scelto			
V	2018 515 818	Complementi di macchine Impianti meccanici Progetti di macchine (2)	6468	Dinamica e controllo delle macchine a fluido
	Tre o due materie dell'indirizzo di specializzazione scelto			
	1. Indirizzo Costruttivo I			
	6462 9044	Calcolo numerico e programmazione (IV)* Macchine ed impianti elettrici (IV)**	4117 2022 6472 5798 9612	Analisi sperimentale delle tensioni (V) Complementi di costruzione di macchine (V) Complementi di meccanica applicata (V) (*) Costruzione di macchine automatiche (V) (*) Meccanica applicata alle macchine (avanzato) (3)
	2. Indirizzo Costruttivo II			
	6462 2224 886	Calcolo numerico e programmazione (IV)* Tecnologia dei materiali (IV) Scienza dei metalli (V)	4117 2022 6472 9612 5799	Analisi sperimentale delle tensioni (V) (*) Complementi di costruzione di macchine (V) Complementi di meccanica applicata (V) Meccanica applicata alle macchine (avanzato) (V) (3) Progettazione assistita di strutture meccaniche (V) (*)
	3. Indirizzo Impiantistico			
	6462 92	Calcolo numerico e programmazione (IV)* Chimica applicata (V)	8076 6541 2020 6937 4146	Complementi di impianti meccanici (V) Impianti tecnici industriali (V) Organizzazione della produzione (V) Pianificazione degli impianti meccanici (V) Strumentazione industriale (V)
	4. Indirizzo Macchine a fluido			
	6462 1059 2016	Calcolo numerico e programmazione (IV) Termotecnica del reattore (V) Trazione e propulsione (V)	2 5799 8081	Aerodinamica (IV) (*) Progettazione assistita di strutture meccaniche (V) Turbomacchine (V) (*)

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA - COD. 2002				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
	5. Indirizzo Tecnologico			
	6462	Calcolo numerico e programmazione (IV)*	3117	Analisi sperimentale delle tensioni (V)
	9044	Macchine e impianti elettrici (IV)	2022	Complementi di costruzione di macchine (V)
	2224	Tecnologia dei materiali (IV) (*)		
	886	Scienza dei metalli (V) (*)	5798	Costruzione di macchine automatiche (V)
			2020	Organizzazione della produzione (V)
			6937	Pianificazione degli impianti meccanici (V)
			4146	Strumentazione industriale (V)
	6. Indirizzo Trasporti			
	6462	Calcolo numerico e programmazione (IV)*	2	Aerodinamica (IV)
	1031	Tecnica ed economia dei trasporti (IV)	2011	Tecnica della circolazione (V)
	2016	Trazione e propulsione (V)		

Il numero complessivo degli insegnamenti è di 29 annualità.
I numeri romani fra parentesi indicano l'anno o gli anni di corso in cui l'insegnamento può essere inserito nel piano di studi.
(*) Insegnamento caratterizzante per l'indirizzo.
(1) Equivalente a «Macchine I»
(2) Sostituibile a domanda, con:
«5798 Costruzione dimacchine automatiche»
«5799 Progettazione assistita di strutture meccaniche»
«4117 Analisi sperimentale delle tensioni»
(3) Sostituito a tutti gli effetti da «Meccanica delle vibrazioni».
* Sostituito da «Fondamenti di informatica».
** Sostituito da «Azionamenti elettrici».

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTROTECNICA - COD. 2003

Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
IV	5843 270 666	Impianti elettrici Elettronica applicata Macchine elettriche	196 732 2237 5695	Controlli automatici Misure elettriche Applicazioni industriali dell'elettrotecnica (ind. Automazione ind.le) Esercizio delle reti elettriche di energia (ind. Energia) (1)
V	1046 5694	Tecnologie elettriche Economia dell'ingegneria		
	1. Indirizzo Energia			
	205	Costruzioni elettromeccaniche	4153	Tecnica delle alte tensioni
	3 esami a scelta suddivisi secondo gli orientamenti suggeriti			
	2. Indirizzo Automazione industriale			
	2037	Elettronica industriale	9269	Tecnologie dei sistemi di controllo
	3 esami a scelta suddivisi secondo gli orientamenti suggeriti			
	Orientamenti suggeriti: INDIRIZZO ENERGIA: (devono essere scelti 3 corsi, fra cui i due asteriscati)			
	1. Macchine elettriche			
	 2037 5697	Misure elettroniche Elettronica industriale Misure e regol. degli impianti elettrici	4118 81 5751	Complementi dimacchine elettriche* (5) Calcolo delle macchine elettriche* Trazione elettrica e termica
	2. Impianti elettrici			
	9041 5091 5697	Elementi di fisica ed ingegneria dei plasmi Impianti idraulici Misure e regol. degli impianti elettrici Misure elettroniche	2237 86 9267	Applicazioni industriali dell'Elettrot.* (2) Centrali elettriche* Tecnologie elettriche (spec.)
	3. Tecnologie elettriche			
	9041 2468	Elementi di fisica e ingegneria dei plasmi Complementi di elettrotecnica (3)	2237 5696 9267 2049 9269	Applicazioni industriali dell'Elettrotecnica (2) Materiali spec. per l'Elett. Tecnologie elettriche (speciali)* Tecnologie generali* (4) Tecnologie dei sist. di controllo

(*segue*)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTROTECNICA - COD. 2003

Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
		4. Elettronica di potenza		
	2037 7946	Elettronica industriale* Fondamenti di informatica II Misure elettroniche	2237 9269 5751	Applicazioni indus. dell'Elettrotecnica (2) Tecnologie sist. di controllo Trazione elettrica e termica Complementi di misure elettriche
		5. Gestionale		
	1031 884	Tecnica ed economia dei trasporti Ricerca operativa	4122 9268 9269	Complementi di misure elettriche Economia politica* Economia ed organiz. aziend.* Tecnologie generali Tecnologie sist. di controllo
		Indirizzo Automazione industriale: (si devono scegliere due corsi, fra cui quello asteriscato)		
		1. Azionamenti elettrici		
	2005 7946 5697	Costruzioni elettromeccaniche* Fondamenti di informatica II Misure e regol. impianti elettrici	4118 81 5751	Complementi di macchine elett. Calcolo delle macchine elett. Trazione elettrica e termica
		2. Tecnologie e materiali		
	9041 2468	Elementi di fisica ed ingegneria dei plasmi Complementi di elettrotecnica (3)	2237 9267 4153 2049 5696	Applicazioni industriali dell'elettrotecnica Tecnologie elettriche (speciali)* Tecnica delle alte tensioni Tecnologie generali* Materiali spec. per l'Elettrotecnica
		3. Grandi sistemi		
	5691 5697	Impianti idraulici Misure e regol. impianti elettrici Misure elettroniche	86 5695 4153 9267	Centrali elettriche* Esercizio delle reti elettriche di energia* Tecnica delle alte tensioni Tecnologie elettriche (speciali)

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTROTECNICA - COD. 2003				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
	4. Gestionale			
	884	Ricerca operativa		Economia politica*
	1031	Tecnica ed economia dei trasporti	9268	Economia ed organizzazione aziendale
			5695	Esercizio delle reti elettriche di energia
			2020	Organizzazione della produzione
			2049	Tecnologie generali
				Complementi di misure elettriche

In applicazione delle leggi 910/69 e 924/70, questo Manifesto degli Studi pubblica il piano di studio consigliato dalla Facoltà; tale piano di studio è già stato approvato dal Consiglio di Corso di Laurea e dal Consiglio di Facoltà. Il piano di studio corrispondente al vecchio Statuto si compone invece dei seguenti 29 insegnamenti:
I anno: 1352 Analisi matematica I, 1364 Disegno, 1361 Chimica, 1377 Geometria, 13690 Fisica I.
II anno: 1356 Analisi matematica II, 1372 Fisica II, 4501 Calcolo numerico e programmazione, 1381 Meccanica razionale, 5693 Chimicafisica dei materiali elettrici, 2004 Metodi di osservazione e misura.
III anno: 277 Elettrotecnica I, 6797 Fisica tecnica, 8075 Scienza delle costruzioni, 279 Elettrotecnica II, 8074 Macchine, 8073 Meccanica applicata alle macchine.
IV anno: 5843 Impianti elettrici, 666 Macchine elettriche, 270 Elettronica applicata, 196 Controlli automatici, 732 Misure elettriche, 5695 Esercizio delle reti elettriche per l'energia, 6799 Idraulica.
V anno: 5694 Economia dell'Ingegneria, 1046 Tecnologie elettriche.
Inoltre: 205 Costruzioni elettromeccaniche, 4153 Tecnica delle alte tensioni, un corso a scelta fra quelli degli orientamenti sopra riportati (indirizzo Energia) oppure
2237 Applicazioni industriali dell'Elettrotecnica, 2037 Elettronica industriale, 9269 Tecnologie dei sistemi di controllo (indirizzo Automazione industriale).
(1) Sostituito a tutti gli effetti da «Pianificazione ed esercizio dei sistemi elettrici per l'energia».
(2) Sostituito da «Sistemi elettronici di potenza negli impianti elettrici».
(3) Sostituito da «Progettazione automatica per l'Ingegneria elettrica».
(4) Sostituito da «Tecnologie generali dei materiali».
(5) Sostituito da «Modellistica dei sistemi elettromeccanici».

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA - COD. 2004				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
IV	501 663 2235	Impianti chimici Macchine Scienza dei materiali	1385 4641	Meccanica applicata alle macchine Principi di ingegneria chimica II
	Due materie dell'indirizzo di specializzazione scelto			
V	137 502 1143	Chimica industriale Impianti chimici II Strumentazione chimica (1)		
	Tre materie dell'indirizzo di specializzazione scelto			
	1. Indirizzo Materiali			
	2021 4123 115	Metallurgia e metallografia (IV) Chimica fisica dei polimeri (V) (2) Chimica e tecnologia dei prodotti ceramici (V)	5802 1142 2030	Proprietà termodinamiche e di trasporto (IV) Teoria e sviluppo dei processi chimici (IV) Costruzione di apparecchiature chimiche (V)
	2. Indirizzo Processi — Impianti			
	6529 5801	Tecnologia chimica del disinquinamento (V) Analisi dei sistemi dell'ingegneria chimica (V)	5802 1142 9042 5819	Proprietà termodinamiche e di trasporto (IV) Teoria e sviluppo dei processi chimici (IV) Impianti chimici III (V) Sviluppo e disegno degli impianti chimici (V)

(*segue*)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA - COD. 2004					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
	3. Indirizzo Ambiente					
	5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (IV) (estensivo)	6529 5801	Tecnologia chimica del disinquinamento (V) Analisi dei sistemi dell'ingegneria chimica (V)	1142 2006 4137	Teoria e sviluppo dei processi chimici (IV) Acquedotti e fognature (sem.) (V) Legislazione mineraria (sem.) (V)
	4. Indirizzo Gestionale					
			6529 5801	Tecnologia chimica del disinquinamento (V) Analisi dei sistemi dell'ingegneria chimica (V)	1142 9268 5819	Teoria e sviluppo dei processi chimici (IV) Economia e organizzazione aziendale (IV) Sviluppo e disegno degli impianti chimici (V) Organizzazione aziendale (V) (3)

Il numero complessivo degli insegnamenti è di 29 annualità. Due insegnamenti semestrali sono equivalenti ad un insegnamento annuale.

I numeri romani fra parentesi indicano l'anno di corso in cui l'insegnamento può essere inserito nel piano di studi.

1. Sostituito a tutti gli effetti da «8545 Dinamica e controllo dei processi chimici».
2. Sostituito a tutti gli effetti da «Materiali polimerici».
3. Insegnamento mutuato dalla Facoltà di Economia e Commercio «Organizzazione aziendale (M-Z».

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MINERARIA - COD. 2005					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
IV			663 4114	Macchine Meccanica delle rocce	54 1385 690 6804	Arte mineraria Meccanica applicata alle macchine Meccanica dei giacimenti di idrocarburi Topografia
	Due materie dell'indirizzo di specializzazione negli indirizzi 1-3-4 (1) *Una materia annuale dell'indirizzo di specializzazione nell'indirizzo 2 (1)*					
V			490	Idraulica	454 1019	Geofisica mineraria Tecnica dei sondaggi
	Due materie dell'indirizzo di specializzazione negli indirizzi 1-3-4 (1) *Tre materie annuali dell'indirizzo di specializzazione nell'indirizzo 2 (1)*					
	1. Indirizzo Miniere e Cave					
	9047	Tecnica delle costruzioni (IV)	2007 4135 9040 4125 805	Geotecnica (sem.) (IV) Idrogeologia applicata (sem.) (IV) (3) Complementi di arte mineraria (V) (*) (4) Consolidamento dei terreni (V) Preparazione dei minerali (V) (*)	4137 9268	Legislazione mineraria (sem.) (IV) Economia ed organizzazione aziendale (V)
	2. Indirizzo Idrocarburi e Fluidi del sottosuolo					
			2007 4135 816 10402	Geotecnica (sem.) (IV) Idrogeologia applicata (sem.) (IV) (*) (3) Produzione e trasporto degli idrocarburi (V) (*) Principi di ingegneria chimica ambientale	4137 6462 731	Legislazione mineraria (sem.) (IV) Calcolo numerico e programmazione (V) Misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi (V) (*)

(*segue*)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MINERARIA - COD. 2005					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
	3. Indirizzo Geotecnico-costruttivo					
	9047	Tecnica delle costruzioni (IV) (*)	2007 4135 9040 4125 805	Geotecnica (sem.) (IV) (*) Idrogeologia applicata (sem.) (IV) (3) Complementi di arte mineraria (V) Consolidamento dei terreni (V) Preparazione dei minerali (V)	6462 2008	Calcolo numerico e programmazione (V) Tecnica delle fondazioni (sem.) (V) (*)
	4. Indirizzo Ambiente e Territorio					
	9047	Tecnica delle costruzioni (IV)	2007 4135 9040 4125 4131 6529	Geotecnica (sem.) (IV) Idrogeologia applicata (sem.) (IV) (*) (3) Complementi di arte mineraria (V) (4) Consolidamento dei terreni (V) Difesa e conservazione del suolo (V) (*) Tecnologia chimica del disinquinamento (V) (5)	4137	Legislazione mineraria (sem.) (IV) (*)

1. Il numero complessivo degli insegnamenti è di 29 annualità. Due insegnamenti semestrali sono equivalenti ad un insegnamento annuale.
2. I numeri romani fra parentesi indicano l'anno o gli anni di corso in cui l'insegnamento può essere inserito nel piano di studi.

(*) Insegnamento caratterizzante, obbligatorio per l'indirizzo.

3. Sostituito a tutti gli effetti da «7947 Meccanica dei fluidi nel sottosuolo (sem.)».
4. Sostituito a tutti gli effetti da «516 Impianti minerari».
5. Sostituito a tutti gli effetti da «10402 Principi di ingegneria chimica ambientale».

VECCHIO ORDINAMENTO

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - COD. 2006				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
INSEGNAMENTI COMUNI A TUTTI I PIANI DI STUDIO				
IV	5809 3980	Elettronica applicata II Sistemi per l'elaborazione dell'informazione	1386	Misure elettriche
V	251	Economia ed organizzazione aziendale (3)		
Il piano di studi deve comprendere 29 distinte annualità				
PIANI DI STUDIO CON INDIRIZZO AUTOMAZIONE				
IV	884	Ricerca operativa	4126 8073	Controllo dei processi Meccanica applicata alle macchine
V	5574 3695	Tecnologie dei sistemi di controllo Controlli automatici II	2632	Meccanica delle macchine e macchine (3) *2 materie di indirizzo a scelta*
Insegnamenti a scelta:				
V	2037 9241	Elettronica industriale Complementi di misure elettriche	3716 9241 5700 5701	Calcolatori elettronici Complementi di macchine elettriche Comunicazioni elettriche II Metodi di ottimizzazione
PIANI DI STUDIO CON INDIRIZZO BIOINGEGNERIA				
IV	9602	Biomeccanica e biomacchine	5698 4152	Campi elettromagnetici e circuiti I Strumentazione biomedica
V	1679 3569	Automazione e organizzazione sanitaria Bioautomatica		*3 Materie di indirizzo a scelta*
Insegnamenti a scelta:				
V	877 884	Radiotecnica Ricerca operativa	3716 2632 5573	Calcolatori elettronici Meccanica delle macchine e macchine Gestione dell'informazione
	PIANO DI STUDIO CON INDIRIZZO GESTIONALE			
IV	884	Ricerca operativa	10381 5573	Algoritmi di ottimizzazione Sistemi informativi I
V		*2 Materie di indirizzo a scelta*	5573 2020	Gestione dell'informazione (3) Organizzazione della produzione *Materia di indirizzo a scelta*

(segue)

VECCHIO ORDINAMENTO

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - COD. 2006				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
		Insegnamenti a scelta:		
V	5574 1031 4138	Tecnologie dei sistemi di controllo Tecnica ed economia dei trasporti Linguaggi di programmazione	5700 3716 4126 2632 6937 2011	Comunicazioni elettriche II Calcolatori elettronici Controllo dei processi Meccanica delle macchine e macchine Pianificazione degli impianti meccanici Tecnica della circolazione
		PIANI DI STUDIO CON INDIRIZZO INFORMATICA		
IV	884	Ricerca operativa	10384	Calcolatori elettronici II Sistemi informativi I
V	884 4138	Ricerca operativa (3) Linguaggi di programmazione (3)	3716 2632 1386	Calcolatori elettronici (3) Meccanica delle macchine e macchine Misure elettriche (3)
		Insdegnamenti a scelta:		
V	4314 2037 6802	Elettronica applicata III Elettronica industriale Scienza delle costruzioni	10392 5700	Sistemi di elaborazione Comunicazioni elettriche II
		PIANI DI STUDIO CON INDIRIZZO MICROELETTRONICA		
IV	2034	Elettronica quantistica	5702 7941	Microelettronica Campi elettromagnetici
V	4314	Elettronica applicata III *Materia di indirizzo a scelta*		*3 Materie di indirizzo a scelta*
		Insegnamenti a scelta:		
V	5699 877 2037	Campi elettromagnetici e circuiti II Radiotecnica Elettronica industriale	3716 2044 5700	Calcolatori elettronici Strumentazione elettronica Comunicazioni elettriche II
		PIANI DI STUDIO CON INDIRIZZO TELECOMUNICAZIONI		
IV	10393	Sistemi di telecomunicazione	10390 10389	Reti di telecomunicazioni Propagazione
V		*2 Materie di indirizzo a scelta (4)*	5700	Comunicazioni elettriche II *2 Materie di indirizzo a scelta*
		Almeno 2 insegnamenti a scelta fra i seguenti:		
V	5699	Campi elettromagnetici e circuiti II	10389 2191	Propagazione (3) Microonde
		Altri insegnamenti a scelta:		
V	4314 4138 6802	Elettronica applicata III Linguaggi di programmazione Scienza delle costruzioni	3716 2632 2044	Calcolatori elettronici Meccanica delle macchine e macchine Strumentazione elettronica

(*segue*)

VECCHIO ORDINAMENTO

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - COD. 2006				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO

1. In applicazione delle leggi 910/69 e 924/70, questo Manifesto degli Studi pubblica i piani di studio consigliati dalla Facoltà; tali piani di studio sono già stati approvati dal Consiglio di Corso di Laurea e dal Consiglio di Facoltà. Il piano di studi corrispondente allo Statuto della Facoltà si compone invece dei seguenti 26 insegnamenti obbligatori e di tre insegnamenti a scelta. I anno: 1352 Analisi matematica I, 1361 Chimica, 1365 Disegno, 1369 Fisica I, 1377 Geometria; II anno: 1356 Analisi matematica II, 6464 Calcolo numerico e programmazione, 1372 Fisica II, 1381 Meccanica razionale, 2004 Metodi di osservazione e misura; III anno: 6765 Elettrotecnica I, 189 Complementi di matematiche, 6798 Fisica tecnica, 6802 Scienza delle costruzioni, 4179 Comunicazioni elettriche I, 2438 Elettronica applicata I, 5579 Reti logiche, 4115 Teoria dei sistemi; IV anno: 5698 Campi elettromagnetici e circuiti I, 3694 Controlli automatici I, 5809 Elettronica applicata II, 877 Radiotecnica, 3980 Sistemi per l'elaborazione dell'informazione; V anno: 251 Economia e organizzazione aziendale, 2632 Meccanica delle macchine e Macchine, 1386 Misure elettriche.

2. Ogni piano di studi deve comprendere 29 insegnamenti annuali diversi; poiché sono in corso modifiche all'Ordine degli Studi, il presente Manifesto degli Studi presenta un piano transitorio per l'a.a. 1992/93; per gli anni precedenti è riconosciuta la carriera scolastica già percorsa, mentre per gli anni successivi potranno intervenire variazioni nei futuri Manifesti degli Studi.

3. Solo per gli studenti che si iscrivono nel 1992/93 al quinto anno di corso senza avere acquisito la firma di frequenza di questo insegnamento.

(4) 3 materie a scelta per gli studenti che hanno già acquisito la firma di frequenza di «251 Economia e organizzazione aziendale».

Equivalenze:

3980 Sistemi per l'elaborazione dell'informazione	Calcolatori elettronici I
2632 Meccanica delle macchine e macchine	Meccanica applicata alle macchine
3716 Calcolatori elettronici	Calcolatori elettronici II
5573 Gestione dell'informazione	Sistemi informativi I
5701 Metodi di ottimizzazione	Algoritmi di ottimizzazione
9239 Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (avanzato)	Sistemi di elaborazione
5700 Comunicazioni elettriche II	Reti di telecomunicazione
5698 Campi elettromagnetici e circuiti I	Campi elettromagnetici
877 Radiotecnica	Sistemi di telecomunicazione

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1992-93

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE - COD. 2007				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
IV	6469 409	Elementi di ingegneria del reattore (1) Fisica del reattore nucleare	6467 271 4313	Cinetica e controllo del reattore nucleare Elettronica nucleare Macchine
	Piano di studio consigliato, in alternativa			
IV	1384 7944	Costruzione di macchine Elementi di fisica dei reattori a fissione e a fusione	270 196 9268	Elettronica applicata + + Controlli automatici I Econom. ed organizz. aziend. Macchine
	+ 1 Materia di orientamento a scelta			
V	517 1059	Impianti nucleari Termotecnica del reattore	730	Misura delle radiazioni e protezione
	Tre materie dell'indirizzo di specializzazione scelto			
	I CICLO		II CICLO	
	1. Impiantistico-Costruttivo			
	7942 1385 10388	Chimica fisica dei materiali solidi (IV) Localizzazione di sistemi energetici (IV) Progettaz. autom. per l'ingegneria elettrica (IV)	10391 1044 9430 7972 205 6470	Sicurezza e analisi di rischio (IV) Tecnologia dei materiali nucleari (IV) Calcolo termomecc. di componenti nucleari (V) Energetica e sistemi nucleari (V) Costruzioni elettromeccaniche (V) Strumentazione e regolazione degli impianti nucleari (V)
	2. Neutronica-Plasmi			
	7942 10385 10008	Chimica fisica deimateriali solidi (IV) Localizzazione dei sistemi energetici (IV) Magnetofluidodinamica applicata (V)	10401 4140	Controlli automatici ed Elettronica applicata II (IV) Neutronica applicata (V)

Il numero complessivo degli insegnamenti è di 29 annualità.
I numeri romani fra parentesi indicanol'anno di corso di appartenenza.
(1) Sostituito a tutti gli effetti da «1384 Costruzione di macchine».

NOTE ESPLICATIVE SUI CORSI DI LAUREA E SUGLI INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

Il Corso di Laurea in Ingegneria Civile è attualmente ordinato su tre sezioni: edile, idraulica, trasporti e su sedici indirizzi in appresso indicati:

1. *Sezione Edile*

Indirizzi Architettura

I gruppi di materie degli indirizzi *Architettura A* e *B* studiano, a livello teorico e applicativo, il processo di progettazione globale dell'oggetto edilizio-architettonico riguardo ai suoi caratteri specifici e alla sua integrazione nell'ambiente. In particolare, la progettazione concerne gli aspetti di inquadramento storico-critico dell'attività architettonica, di analisi funzionale e spaziale delle strutture architettoniche, della loro organizzazione sistematica e di applicazione delle tecniche costruttive, specialmente di quelle industrializzate.

La diversificazione fra i due gruppi A e B consiste nella specifica pertinenza ai problemi della progettazione a scala edilizia per l'*indirizzo A*, e nell'approfondimento delle relazioni tra organismo edilizio e scelte urbanistiche di scala intermedia per l'*indirizzo B*.

I gruppi di materie degli *indirizzi C* e *D* si caratterizzano nell'ambito dei rapporti tra componente tecnologica e processo di progettazione alle diverse scale di intervento sull'ambiente costruito e sul territorio, sottolineando i problemi relativi: alle tipologie costruttive per l'attività produttiva, ai processi di industrializzazione edilizia, di ristrutturazione e recupero urbano, alla organizzazione delle fasi operative di cantiere.

I due indirizzi si differenziano per l'applicazione della tecnologia, rispettivamente alla scala dell'organismo architettonico (*indirizzo C*) e alla scala dell'intervento territoriale, con le relative implicazioni nella progettazione delle infrastrutture, dei vincoli normativi, nella programmazione economica (*indirizzo D*).

Indirizzi Territorio

I gruppi di materie degli indirizzi *Territorio A* e *Territorio B* affrontano i problemi teorici ed operativi della pianificazione del territorio e, più specificamente, i rapporti fra programmazione economica e assetto territoriale alle diverse scale, l'organizzazione dei sistemi di servizi e di infrastrutture, i metodi e le tecniche di misura necessari a garantire un uso corretto delle risorse e la salvaguardia dell'ambiente, anche attraverso modelli quantitativi di pianificazione.

La diversificazione fra i due gruppi deriva dalla maggior accentuazione, nell'indirizzo «A», dei problemi progettuali e di organizzazione complessiva del territorio, mentre nel-

l'indirizzo «B» vengono più specificamente trattati gli aspetti relativi alla pianificazione delle reti infrastrutturali e alla difesa del suolo.

Indirizzo Ambiente

L'indirizzo «Ambiente» ha lo specifico obiettivo di formare tecnici in grado di affrontare i temi della programmazione e gestione delle risorse, rispondendo all'esigenza di uno sviluppo sensibile alla qualità delle strutture ambientali.

Questo indirizzo di specializzazione è particolarmente orientato alla valorizzazione dei caratteri interdisciplinari concernenti i diversi problemi di pianificazione territoriale, protezione delle risorse, inquinamento ambientale.

Indirizzo Costruzioni

L'indirizzo *Costruzioni*, distinto nei due rami individuati dagli indici A e B, si caratterizza per la presenza di corsi volti a completare la preparazione degli allievi ingegneri nel campo dell'ingegneria strutturale. Gli argomenti previsti nel programma dei vari corsi si configurano pertanto come il logico approfondimento e proseguimento dei temi trattati nei corsi propedeutici comuni a tutte le sezioni civili.

Con l'indirizzo *Costruzioni A*, particolarmente volto all'analisi dei problemi connessi con il progetto e il calcolo delle strutture, si persegue quindi un approfondimento degli aspetti teorici dei problemi strutturali, associato anche ad un'ampia indagine dei temi più strettamente concernenti le applicazioni professionali.

L'indirizzo *Costruzioni B*, pur rimanendo orientato verso lo studio della teoria e della tecnica delle strutture, prevede anche, nell'ambito di alcuni corsi specialistici, la trattazione di argomenti riguardanti le tecniche di esecuzione delle costruzioni ed i relativi problemi di gestione.

Indirizzo Impianti

L'indirizzo *Impianti* ha per finalità l'approfondimento degli aspetti applicativi di tutta l'impiantistica nelle costruzioni: studio e progettazione esecutiva degli impianti tecnici di riscaldamento, idrico-sanitari, condizionamento estivo e di fognatura; progettazione del cantiere e sua organizzazione; applicazione e studio dei problemi di acustica e di illuminazione sia negli edifici sia nello spazio urbano.

2. *Sezione idraulica*

Comune a tutti gli indirizzi di questa sezione è un insieme di corsi di base che, a partire del 3° anno di corso, orientano la preparazione verso i problemi idraulici e idrologici dell'ingegneria. Su questo filone comune, integrato peraltro da tutti i corsi fondamentali dell'Ingegneria Civile, si sviluppano cinque diversi indirizzi, ciascuno individuato da 5 corsi caratterizzanti a contenuto prevalentemente professionale.

Indirizzo Costruzioni

Intende approfondire gli aspetti progettuali, costruttivi e tecnici delle costruzioni idrauliche.

Indirizzo Idraulico teorico

Intende approfondire gli aspetti dell'ingegneria più strettamente legati alla meccanica dei fluidi e alla modellistica.

Indirizzo Impiantistico

Approfondisce le conoscenze nel campo della tecnica impiantistica e del controllo dei processi idraulici.

Indirizzo Territorio

E' volto all'approfondimento dei problemi e delle tecniche di sviluppo e pianificazione delle risorse idriche.

Indirizzo Ambiente

E' rivolto all'approfondimento degli argomenti relativi alla qualità delle acque e agli impianti di trattamento e di risanamento.

3. *Sezione Trasporti*

In ogni attività produttiva è contenuta, in misura notevole, la componente trasportistica, sia per l'azione vera e propria del trasportatore sia per la presenza di infrastrutture tipiche dei trasporti (strade, ferrovie, stazioni, ecc.).

Questo comporta un duplice aspetto di interessi, organizzativo e strutturale, che viene esaminato e studiato, in forma generale, nel corso fondamentale di «Tecnica ed economia dei trasporti».

L'aspetto organizzativo riguarda la migliore utilizzazione delle strutture (vie, veicoli, centri di smistamento, ecc.), quello strutturale riguarda invece il dimensionamento più adatto da dare alle infrastrutture per poter soddisfare le richieste attuali o quelle che si potranno avanzare in un tempo futuro nel rispetto dei vincoli ambientali ed economici.

In tal modo, seguendo un metodo di inquadramento disciplinare della materia, che tenga conto dei criteri più moderni, avente una funzione unificatrice di finalità e di metodi, ogni problema dei trasporti si inserisce in quello più ampio e generalizzato di un servizio per l'uomo nel proprio spazio e determina i cinque principali settori di specializzazione riguardanti:

— l'organizzazione dei trasporti nel territorio (*indirizzo territorio*);
— i sistemi di trasporto (*indirizzo trazione*);
— le infrastrutture e i terreni (*indirizzo costruzioni*);
— la tutela ambientale (*indirizzo ambiente*).
— gli aspetti gestionali ed economici (*indirizzo gestione*).

Indirizzo Territorio

Concerne lo studio del sistema, cioè l'assetto dello spazio inteso come ambito in cui i sistemi di trasporto vengono impiegati utilizzando in modo ottimale le risorse disponibili. A tale fine si ricorre a una tecnica di pianificazione dei trasporti (contenuta nel corso di «Tecnica della circolazione») sopra un territorio che viene analizzato nei suoi aspetti

produttivi («Complementi di tecnica urbanistica») sia tenendo conto delle caratteristiche funzionali dei sistemi di trasporto («Costruzioni marittime e fluviali» «Complementi di tecnica ed economia dei trasporti») sia utilizzando moderne metodologie di studio («Teoria dei sistemi e del controllo»).

Indirizzo Trazione

Vengono presi in particolare considerazione i sistemi di trasporto nel senso più ampio, considerati come insieme coordinato di via-veicolo, negli ambienti terrestre, marittimo e aereo.

Premesso che un inserimento e una integrazione dei sistemi di trasporto può avvenire solo in un quadro di coordinamento territoriale («Tecnica della circolazione»), i sistemi medesimi vengono considerati nei loro aspetti più propriamente funzionali riguardo alle infrastrutture terrestri («Complementi di tecnica ed economia dei trasporti») e in quelli meccanico-funzionali negli ambiti terrestre, marittimo e aereo («Trazione e propulsione», «Trazione elettrica e termica», «Aerodinamica»), con un approccio di tipo sistemico («Teoria dei sistemi e del controllo»).

Indirizzo Costruzioni

Riguarda i problemi costruttivi delle infrastrutture terrestri.

Lo studio funzionale dei sistemi di trasporto («Complementi di tecnica ed economia dei trasporti») consente di eseguire un dimensionamento funzionale delle infrastrutture in seguito al quale è possibile eseguire la progettazione delle medesime in condizioni di economia.

Vengono esaminate particolari strutture in elevazione («Complementi di tecnica delle costruzioni») e di fondazione («Tecnica delle fondazioni») con riferimento al terreno («Geotecnica») e ai modi di migliorarne le prestazioni («Consolidamento dei terreni»), utilizzando moderne metodologie di studi («Teoria dei sistemi e del controllo»).

Indirizzo Ambiente

Vengono considerati gli aspetti riguardanti la tutela ambientale dagli effetti nocivi (gas, rumori) prodotti dall'uso dei sistemi di trasporto o, in altre parole, viene considerato il problema dell'impatto ambientale in relazione ai trasporti ed alla presenza dei sistemi di trasporto (nodi di smistamento, linee di comunicazione).

A questo scopo vengono presi in considerazione i trasporti come cause (nei corsi di Tecnica della circolazione, Trazione e propulsione) e quindi gli effetti e i rimedi (nei corsi di Tecnologia chimica del disinquinamento, Acustica applicata ed illuminotecni- ca), nell'ambito territoriale (Programmazione dell'assetto e sviluppo del territorio).

Indirizzo Gestione

Vengono esaminati i problemi di ottimizzazione della funzione economica del trasporto nel contesto territoriale. Le tematiche economiche, organizzative e gestionali (Economia ed Organizzazione Aziendale, Economia dell'Ingegneria), vengono affrontate in un quadro di pianificazione del sistema dei trasporti e dell'assetto territoriale (Tecnica della circolazione, Programmazione dell'assetto e dello sviluppo del territorio) ed in un'ottica sistemica (Teoria dei sistemi e del controllo), tenendo conto dei principali problemi di progettazione funzionale dei vari sistemi (Complementi di tecnica ed economia dei trasporti).

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

Il corso di laurea in Ingegneria meccanica è articolato in 6 indirizzi e prevede 25 insegnamenti obbligatori — gli stessi per tutti gli indirizzi — e 4 a scelta.

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 Costruttivo I

L'indirizzo, caratterizzato dai corsi di Complementi di meccanica applicata e Costruzione di macchine automatiche, che forniscono approfondimenti nel settore della meccanica delle macchine e nell'impostazione generale del progetto e dell'esecuzione delle macchine automatiche, dà allo studente — unitamente alla possibilità di acquisire ulteriori conoscenze sulle metodologie sperimentali di base, su alcuni tipi di materiali, sui componenti elettronici impiegati nelle macchine, eccetera — gli strumenti per una più meditata soluzione costruttiva.

Indirizzo Costruttivo II

L'indirizzo, caratterizzato dai corsi di Analisi sperimentale delle tensioni e Progettazione assistita di strutture meccaniche, che forniscono approfondimenti nel settore delle metodologie di base sperimentali e basate sull'assistenza del calcolatore, dà allo studente — unitamente alla possibilità di acquisire ulteriori conoscenze sui materiali metallici e non, sulle costruzioni leggere, eccetera — gli strumenti per una più precisa valutazione dell'affidabilità strutturale degli organi delle macchine e delle strutture metalliche.

Indirizzo Impiantistico

In questo indirizzo, caratterizzato dai corsi di Impianti tecnici industriali e Pianificazione degli impianti meccanici, vengono offerti allo studente gli strumenti per affrontare problemi specifici di progettazione, organizzazione e conduzione di impianti industriali meccanici e termici, sia sotto l'aspetto tecnico che sotto quello economico.

Indirizzo Macchine a fluido

In questo indirizzo, caratterizzato dai corsi di Aerodinamica e Turbomacchine, vengono approfondite le conoscenze sul moto dei fluidi al fine di sviluppare il progetto fluidodinamico delle macchine.

Un approfondito collegamento fra gli aspetti fluidodinamici, il dimensionamento e la costruzione delle macchine a fluido viene fornito attraverso i collegamenti con i corsi di Calcolo numerico, e Progettazione assistita di strutture meccaniche che forniscono gli elementi necessari per l'applicazione di tecniche aggiornate mediante l'uso dell'elaboratore nella progettazione.

Indirizzo Tecnologico

Questo indirizzo è articolato in due sotto indirizzi, che coprono l'uno l'area dei materiali e l'altro quella dell'automazione industriale. Nel primo gruppo, il corso di Tecnologia dei materiali approfondisce soprattutto il problema della scelta ottimale del materiale e dei trattamenti termomeccanici; nel secondo gruppo, il corso di Costruzione di macchine automatiche è soprattutto rivolto al progetto dell'architettura generale delle macchine automatiche. Gli altri corsi offrono opportuni complementi nel campo della scienza dei metalli e della organizzazione della produzione.

Indirizzo Trasporti

Gli insegnamenti di questo indirizzo, caratterizzato da Tecnica ed economia dei trasporti e da Trazione e propulsione, trattano i problemi relativi alla utilizzazione e alla progettazione dei sistemi di trasporto terrestri, aerei e marittimi. Vengono inoltre approfonditi alcuni particolari problemi tecnici ed organizzativi, sicché l'indirizzo fornisce all'allievo gli strumenti necessari per operare nel settore dei trasporti a livello sia organizzativo che progettuale.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRICA

Il nuovo corso di Laurea in Ingegneria Elettrica così come, in fase transitoria, il corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica che risulta ad esso perfettamente allineato (salvo per questioni puramente nominalistiche) rappresenta l'adeguamento alla evoluzione della scienza e della tecnologia elettrica del precedente corso di laurea in Ingegneria Elettrotecnica così come era stato definito dalla vecchia Legge del 1960.

I piani di studi in Ingegneria Elettrotecnica nella nostra Facoltà si sono andati, nel corso di questi 30 anni, progressivamente modificando, con l'inserimento come corsi obbligatori sul piano di Facoltà delle discipline emergenti nel settore: l'Informatica, i Controlli automatici, la Scienza e la Tecnologia dei materiali, l'Economia dell'Ingegneria, l'Elettronica industriale. Tutto ciò, pur mantenendo all'Ingegneria Elettrotecnica quella caratteristica di interdisciplinarità che consente la formazione di un ingegnere di vasta apertura tecnica e culturale, che possa aprirgli destinazioni assai diverse e anche non strettamente attinenti alla specializzazione conseguita.

La nuova Legge di riforma sancisce questi principi, con l'introduzione del Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica, che assume l'eredità dell'Ingegneria Elettrotecnica ma si rinnova adeguandosi alle nuove frontiere della tecnologia.

Il legislatore, introducendo il settore dell'Ingegneria dell'Informazione, a cui appartiene la nuova Ingegneria Elettronica, ha definito con chiarezza lo spartiacque fra i due Corsi di Laurea: all'Ingegneria Elettronica la generazione, trasmissione, utilizzazione dei segnali, mentre all'Ingegneria Elettrica appartengono tutti i problemi relativi alla potenza.

L'appartenenza al settore industriale vincola la presenza nel curriculum delle classiche discipline ingegneristiche, quali la Scienza delle costruzioni, la Meccanica applicata alle macchine, il Disegno tecnico industriale. D'altra parte la nuova Ingegneria Elettrica è caratterizzata dai due indirizzi di specializzazione, che ne connotano le due «anime»

fondamentali: l'indirizzo Energia e quello Automazione industriale. È quest'ultimo soprattutto che diversifica l'Ingegneria Elettrica dalla vecchia Ingegneria Elettrotecnica, assegnando definitivamente all'Ingegneria Elettrica un settore culturale e professionale che era fino ad ora di confine fra l'Elettrotecnica e l'Elettronica, cioè quello dell'Elettronica di potenza e degli Azionamenti elettrici con le loro applicazioni industriali e impiantistiche.

Si hanno così, già a partire da questo A.A., i due indirizzi sopra menzionati, comprendenti 3 corsi che vanno ad aggiungersi ai 23 obbligatori per tutti. I rimanenti 3 corsi che completano il curriculum di 29 necessario per la Laurea, sono divisi secondo orientamenti che in parte riproducono i vecchi indirizzi, ma con alcune novità. In particolare il nuovo orientamento gestionale permetterà agli allievi elettrotecnici di assumere fin dal corso di studi delle competenze in un settore di grandissimo rilievo per l'ingegnere moderno, spesso impegnato in compiti manageriali. Il Manifesto è articolato in modo tale da fornire agli studenti ampie possibilità di scelta, ed essi hanno anche la possibilità di scegliere come corsi di orientamento quelli dell'altro indirizzo, così da ottenere uno spettro di preparazione di grande ampiezza. Non si deve dimenticare che l'ingegnere elettrotecnico (elettrico) non è e non deve diventare un ingegnere estremamente specializzato: questa è proprio la caratteristica che lo rende un elemento importante e ricercato nel mondo industriale, oggi in cui è necessario che i dirigenti e i tecnici di alto livello siano in grado di gestire problemi interdisciplinari di grande complessità.

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

I settori fondamentali di studio del corso di laurea sono pertanto sufficientemente differenziati tra loro da fornire una preparazione professionale tutt'altro che 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 degli impianti, dei processi e dei materiali.

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 MINERARIA
Vecchio ordinamento

Fra i vari Corsi di Laurea in cui si articola la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna una posizione particolare occupa quello di Ingegneria Mineraria.

Parlare di Mineraria significa per molti riandare con la mente al rapporto uomo-ambiente in relazione all'utilizzazione delle risorse del sottosuolo non trascurando di ricordare l'elevato grado di professionalità che, in rapporto ai temi, ha sempre caratterizzato coloro

che operando in questo campo hanno reso possibile lo sfruttamento delle materie prime e delle fonti di energia.

La creazione di un apposito Corso di Laurea, quale luogo in cui tale professionalità viene trasmessa e si evolve, va vista come una esigenza nata dagli stessi sviluppi di una società industriale che impone una sempre più serrata e sistematica utilizzazione delle risorse naturali.

Così in alcune Facoltà di Ingegneria si è venuta a delineare nei suoi specifici caratteri e competenze, la figura dell'Ingegnere Minerario. E' una figura, contrariamente all'opinione non solo dell'uomo della strada, che nettamente si differenzia da quella del geologo caratterizzata da una preparazione prevalentemente naturalistica.

La sintesi degli aspetti tecnico e geologico rappresenta la caratteristica peculiare dell'ingegneria mineraria, trovandosi tale disciplina assai spesso a confrontarsi con problematiche alla cui soluzione concorrono sia una solida preparazione professionale e culturale sia doti di immaginazione e non per niente la coltivazione delle miniere viene quasi ovunque indicata come «Arte Mineraria».

E' in questo senso che va letta quella progressiva evoluzione della figura dell'ingegnere minerario, evoluzione che ha segnato — e non poteva essere altrimenti — il Corso di Laurea presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna.

Una prima fase che arriva circa alla metà degli anni cinquanta fu caratterizzata ed indirizzata essenzialmente alla coltivazione ed alla ricerca dei minerali e degli idrocarburi con particolare riguardo all'arte mineraria, agli impianti minerari ed alle perforazioni petrolifere.

A partire dal 1959 con l'accresciuta importanza degli idrocarburi nell'ambito nazionale sorse a Bologna una Scuola diretta a far conoscere agli allievi di mineraria il «Reservoir Engineering». Da allora essa ha caratterizzato la laurea in mineraria differenziandola, almeno in parte, da quella fornita nelle altre Sedi.

Nel contempo anche la sezione mineraria, così detta «classica» o «secca», fu potenziata inserendo nel piano di studi altri corsi a scelta riguardanti il trattamento dei minerali e gli impianti minerari.

Verso la fine degli anni sessanta si sentì la necessità di ampliare la preparazione dei laureati fornendo loro, attraverso adeguati corsi, competenze ben precise nel campo delle scienze applicate della terra.

Furono così accesi, fra gli altri i corsi di Meccanica delle Rocce, di Consolidamento dei Terreni e di Difesa e Conservazione del Suolo.

Attualmente si è in procinto di introdurre altri corsi per completare, ovviamente mantenendo inalterata la didattica di base caratteristica della sezione, il campo di azione dell'ingegnere minerario che allo stato delle cose sarebbe forse più esatto definire «geoingegnere».

All'insegnamento è stata inoltre associata la pratica: ad ogni allievo del IV e V anno sono assicurati tirocini pratici della durata di circa un mese presso miniere, cantieri di perforazione o di produzione di idrocarburi e grandi cantieri di costruzioni o scavo in roccia.

Vale infine ricordare il favorevole rapporto docenti-studenti del Corso di laurea, corso che attualmente viene tenuto solo in altre quattro Università italiane (Cagliari, Roma, Torino, Trieste).

Attualmente il Corso di laurea è strutturato su 29 esami di cui 4 a scelta dello studente secondo gli indirizzi sotto riportati.

Indirizzo Miniere e Cave

Ha lo scopo di affinare le conoscenze dell'ingegnere nel campo della ricerca e della produzione delle materie prime minerali e dei materiali per l'industria delle costruzioni. Specifica in tal senso deve essere la preparazione sia nel settore degli impianti (energia, trasporto, estrazione, eduzione e ventilazione), che debbono soddisfare a condizioni di lavoro particolarmente impegnative, sia nel trattamento dei minerali, quale mezzo per rendere disponibili i materiali grezzi in mercantili, atti cioè ad essere utilizzati in altri settori industriali.

Indirizzo Idrocarburi e Fluidi del sottosuolo

Ha lo scopo di orientare la preparazione dell'ingegnere verso la ricerca e la produzione dei fluidi del sottosuolo (idrocarburi, vapori endogeni ed acqua) utilizzati quali risorse energetiche ed idriche o quali materie di base. A tal fine, lo studio delle misure e dei controlli nei giacimenti fornisce le informazioni più complete sulla natura dei fluidi e sulla consistenza dei giacimenti; mentre lo studio delle tecniche di produzione e di trasporto fornisce gli strumenti per una razionale coltivazione dei giacimenti e per il trasporto dei fluidi ai luoghi di trasformazione ed utilizzazione.

Indirizzo Costruttivo

Ha lo scopo di completare la preparazione dell'ingegnere ai fini della progettazione, costruzione e organizzazione del cantiere nelle grandi opere coinvolgenti scavi di roccia o movimenti di terra, quando i problemi connessi con le scienze geoapplicative assumono rilevanza paragonabile a quella dei problemi connessi con la strutturistica.

Indirizzo Difesa e Conservazione del suolo

Ha lo scopo di fornire la preparazione dell'ingegnere per analizzare e proporre soluzioni tecniche appropriate ai problemi della sistemazione razionale del territorio. Ciò in relazione agli aspetti sia della geoingegneria sia della difesa e della conservazione del suolo dalla degradazione dovuta ad agenti naturali e all'azione dell'uomo.

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 Telecomunica-

zioni. Nel loro complesso essi devono recepire tutti gli indirizzi culturali del precedente corso di laurea unico in Ingegneria Elettronica e predisporne 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 telecomunicazione, 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.

SETTORE DELL'INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE
Piano degli studi

	I CICLO	II CICLO
I	Analisi matematica I Fondamenti di informatica I	Chimica Fisica I Geometria e algebra
II	Analisi matematica II Fondamenti di informatica II Fisica II	Elettrotecnica Meccanica razionale Fisica tecnica
III	Analisi matematica III Reti logiche —	Comunicazioni elettriche Elettronica applicata I —
IV	Calcolatori elettronici I Elettronica applicata II —	Misure elettriche — —
V	Economia ed organizzazione aziendale — —	— — —

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'Elettronica si è potuto assistere da un lato a rapidi progressi tecnologici che hanno condotto alla possibilità di costruire in forma integrata monolitica interi sistemi di elaborazione, dall'altro alla diffusione di tali tecniche ad aree applicative sempre più numerose ed estese.

Contemporaneamente, e come necessaria conseguenza, le conoscenze relative ai principi di funzionamento dei dispositivi a semiconduttore, alle loro tecnologie costruttive, e alle tecniche di progettazione dei circuiti integrati, originariamente limitate agli ambienti scientifici e industriali specializzati nello studio e nella realizzazione di dispositivi e circuiti, si sono diffuse anche presso gli ambienti di utilizzazione cioè presso i progettisti e costruttori di sistemi elettronici. Si è verificata cioè, e permane tuttora, una forte tendenza a spostare l'attività di progettazione dal costruttore all'utilizzatore.

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

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

L'attuazione del nuovo Statuto sarà estesa progressivamente fino a sostituire completamente il precedente ordinamento degli studi. Durante la fase transitoria agli studenti è consentito optare per il proseguimento del loro curriculum secondo l'uno o l'altro dei due ordinamenti. Sebbene il precedente Statuto fosse assai più vincolante di quello attualmente in vigore, il corso di laurea in Ingegneria Elettronica si è tuttavia costantemente aggiornato nei contenuti e nella struttura utilizzando le possibilità consentite dalla legge 910 sui piani di studio individuali; in particolare, negli ultimi AA.AA. sono stati predisposti dei piani di studio consigliati e preapprovati la cui struttura anticipava per quanto possibile il futuro nuovo ordinamento. Anche se non potrà apparire chiaro dai Manifesti degli Studi parziali che è necessario pubblicare nella fase transitoria, dunque, il corso di laurea mantiene le finalità che si è sempre proposto e che sono state sopra illustrate e in particolare, conformemente ai pareri espressi anche dal C.U.N. e alle indicazioni più volte fornite da esponenti dell'Industria nazionale, mantiene l'obiettivo di fornire una preparazione «a largo spettro», offrendo allo studente anche le scelte adeguate alla formazione di una cultura personalizzata. L'attuale figura del laureato in Ingegneria Elettronica ha infatti conquistato una profonda stima e un'ampia credibilità nell'ambiente del lavoro. Il mondo industriale si aspetta dal riordino nazionale degli studi di ingegneria una conferma e un consolidamento, su basi sempre più aggiornate, del tipo di formazione finora offerto.

A chiarimento di quanto sopra detto si tenga presente che il DPR 20/5/89 sul riordinamento degli Studi di Ingegneria, consente, tra l'altro, di articolare il corso di laurea in Ingegneria Elettronica sia negli Indirizzi Biomedica, Microelettronica, Strumentazione, sia in Orientamenti definiti annualmente nel Manifesto degli Studi; è ammessa inoltre la possibilità di sostituire uno o due insegnamenti ufficiali con una pluralità di altri moduli didattici, quali seminari, laboratori, ecc.

Ne consegue che gli studenti potranno scegliere sia piani di studio più specifici optando per un Indirizzo (che sarà citato nei certificati di laurea) sia curricula a più ampio spettro non optando per alcun Indirizzo ma indicando gli insegnamenti di Orientamento desiderati nell'ambito, naturalmente, delle modalità stabilite dal Consiglio di corso di laurea.

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 interdiscipli-

nare, 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.

NUOVO ORDINAMENTO

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - CODICE 2106 - A.A. 1992/93				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
PIANO DI STUDI SENZA SCELTA DELL'INDIRIZZO				
I	1352 7945	Analisi matematica I Fondamenti di Informatica I	1361 1369 9757	Chimica Fisica I Geometria e Algebra
II	1356 1372 7946	Analisi matematica II Fisica II Fondamenti di Informatica II	8082 6798 1381	Elettrotecnica Fisica tecnica Meccanica razionale
III	6372 3694 5579	Analisi matematica III Controlli automatici Reti logiche	7941 192 2438	Campi elettromagnetici Comunicazioni elettriche Elettronica applicata I
IV	10383 5809 10393	Calcolatori elettronici I Elettronica applicata II Sistemi di telecomunicazione	10384 5702 1386 7941	Calcolatori elettronici II Micoelettronica Misure elettriche Campi elettromagnetici (1)
V (*)	251	Economia ed organizzazione aziendale		
ORIENTAMENTO BIOINGEGNERIA				
V (*)	9602	Biomeccanica e Biomacchine Bioingegneria II	4152	Strumentazione biomedica due insegnamenti a scelta
ORIENTAMENTO CALCOLATORI ELETTRONICI				
V (*)	4314	Elettronica applicata III Linguaggi e traduttori		Ingegneria del software Sistemi informativi I un insegnamento a scelta
ORIENTAMENTO COMUNICAZIONI ELETTRICHE				
V (*)	4314	Elettronica applicata III Elaborazione ottica dei segnali	10389 10390	Propagazione Reti di telecomunicazioni *Un insegnamento a scelta*
ORIENTAMENTO CONTROLLI AUTOMATICI				
V (*)	2037 5574	Elettronica industriale Tecnologie dei sistemi di controllo	4126	Controlli dei processi Sensori e trasduttori un insegnamento a scelta
PIANI DI STUDI CON SCELTA DI UN INDIRIZZO				
Insegnamenti comuni				
I	1352 7945	Analisi matematica I Fondamenti di Informatica I	1361 1369 9757	Chimica Fisica I Geometria e Algebra
II	1356 1372 7946	Analisi matematica II Fisica II Fondamenti di Informatica II	8082 6798 1381	Elettrotecnica Fisica tecnica Meccanica razionale

(segue)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - COD. 2106 - A.A. 1992/93				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
III	6372 3694 5579	Analisi matematica III Controlli automatici Reti logiche	192 2438	Comunicazioni elettriche Elettronica applicata I
IV	10383 5809	Calcolatori elettronici I Elettronica applicata II	7941 1386	Campi elettromagnetici Misure elettriche
V (*)	251	Economia ed organizzazione aziendale		
INDIRIZZO BIOMEDICA				
III			7940	Bioingegneria I
IV	9602	Biomeccanica e biomacchine	4152	Strumentazione biomedica
V (*)	1679	Automazione e organizzazione sanitaria Bioingegneria II	4152	tre insegnamenti a scelta
INDIRIZZO MICROELETTRONICA				
III			7942	Chimica fisica dei materiali solidi
IV	2034	Elettronica quantistica	5702	Microelettronica
V (*)	4314 2037	Elettronica applicata III Elettronica industriale		Strumentazione e misure elettroniche due insegnamenti a scelta
INSEGNAMENTI A SCELTA				
	Algoritmi di ottimizzazione Automazione e Organizzazione sanitaria Automazione industriale (**) Bioingegneria I Bioingegneria II Biomeccanica e biomacchine Calcolatori elettronici II Chimica fisica dei materiali solidi Compatibilità elettromagnetica (**) Controlli automatici II Controllo dei processi Elaborazione di dati e segnali biomedici (**) Elaborazione ottica dei segnali Elettronica applicata III Elettronica industriale Elettronica quantistica Ingegneria del software (**) Intelligenza artificiale (**) Linguaggi e traduttori Meccanica applicata alle macchine Microelettronica Microonde		Identificazione dei modelli ed analisi dei dati (**) Organizzazione della produzione Propagazione Progetto di circuiti a microonde (**) Reti di calcolatori (**) Reti di telecomunicazioni Ricerca operativa Robotica industriale (**) Scienza delle costruzioni Sensori e Trasduttori Sistemi di commutazione (**) Sistemi di elaborazione Sistemi di telecomunicazione Sistemi informativi I Sistemi informativi II (**) Strumentazione biomedica Strumentazione e misure elettroniche Strumentazione e misure per l'automazione (**) Tecnologie dei sistemi di controllo Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica (**) Trasmissione numerica (**)	
	Qualunque altro insegnamento incluso nei piani di studio del Settore dell'Ingegneria dell'Informazione			

(1) Solo per studenti che si iscrivono nell'a.a. 1992/93 al quarto anno di corso senza aver acquisito la firma di frequenza di questo insegnamento; l'insegnamento a scelta seguito al terzo anno sostituisce uno degli insegnamenti a scelta del quinto anno.

(*) Il quinto anno non è attivato nell'a.a. 1992/93.

(**) Insegnamento non ancora attivato.

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.

NUOVO ORDINAMENTO

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 e algebra
II	1336 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 5809 884	Calcolatori elettronici I Elettronica applicata II Ricerca operativa	1386	Misure elettriche
V (*)	251	Economia ed organizzazione aziendale		
PIANO DI STUDI CON INDIRIZZO AUTOMATICA E SISTEMI DI AUTOMAZIONE INDUSTRIALE				
IV			4126 8073	Controllo dei processi Meccanica applicata alle macchine
V (*)	5574	Tecnologie dei sistemi di controllo Insegnamento a scelta	3695	Controlli automatici II Insegnamento a scelta Insegnamento a scelta
Almeno un insegnamento a scelta tra i seguenti				
V (*)		Intelligenza artificiale (**) Reti di Calcolatori (**)	10381 10384 2020	Algoritmi di ottimizzazione Calcolatori elettronici II Organizzazione della produzione Propagazione/Sistemi di telecomunicazione (**) Sensori
V (*)	Qualunque altro insegnamento incluso nei piani di Studio del Settore dell'Ingegneria dell'Informazione			
Alcuni raggruppamenti consigliati per gli insegnamenti a scelta				
Piano di studi con orientamento *Robotica ed automazione della produzione*				
V (*)		Automazione industriale (**)		Robotica industriale (**) Sensori e trasduttori
Piano di studi con orientamento *Modellistica e algoritmi*				
V (*)		Intelligenza artificiale (**)		Algoritmi di ottimizzazione Identificazione dei modelli ed analisi dei dati (**)

(segue)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA INFORMATICA - CODICE 2108				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
PIANO DI STUDI CON INDIRIZZO SISTEMI ED APPLICAZIONI INFORMATICI				
IV			10394 10384	Sistemi informativi I Calcolatori elettronici II
V (*)		Insegnamento a scelta Insegnamento a scelta	8073	Meccanica applicata alle macchine Insegnamento a scelta Insegnamento a scelta
Almeno due insegnamenti a sceltra tra i seguenti				
V (*)		Linguaggi e traduttori Intelligenza artificiale (**) Reti di calcolatori (**)		Ingegneria del software (**) Sistemi di elaborazione Sistemi informativi II (**)
Altri insegnamenti a scelta				
V (*)	 4314 3027 5574	Automazione industriale (**) Elettronica applicata III Elettronica industriale Tecnologie dei sistemi di controllo	10381 4126 5702 2020 10390	Algoritmi di ottimizzazione Controllo dei processi Microelettronica Organizzazione della produzione Propagazione/Sistemi di telecomunicazione (**) Reti di telecomunicazioni
V (*)	Qualunque altro insegnamento inclusonei piani di studio del Settore dell'Ingegneria dell'Informazione			
Alcuni raggruppamenti consigliati per gli insegnamenti a scelta				
Piano di studi con orientamento *Ingegneria del software*				
V (*)		Intelligenza artificiale (**) Linguaggi e traduttori		Ingegneria del software (**) Sistemi informativi II (**)
Piano di studi con orientamento *Impianti di elaborazione*				
V (*)		Linguaggi e traduttori Reti di calcolatori (**)	10390 10392	Reti di telecomunicazioni Sistemi di elaborazione
Piano di studi con orientamento *Gestionale*				
IV			10394 10381	Sistemi informativi I Algoritmi di ottimizzazione
V (*)		Automazione industriale (**) Intelligenza artificiale (**)	8073 2020	Meccanica applicata alle macchine Organizzazione della produzione Sistemi informativi II (**)

(*) Non attivato nell'a.a. 1992/93.
(**) Insegnamento non ancora attivato.

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 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 1369 9757	Chimica Fisica I Geometria e algebra
II	1356 1372 7946	Analisi matematica II Fisica II Fondamenti di informatica II	8082 6798 1381	Elettrotecnica Fisica tecnica Meccanica razionale
III	6372 7681 5579	Analisi matematica III Controlli automatici Reti logiche	192 7941 2438	Comunicazioni elettriche Campi elettromagnetici Elettronica applicata I
IV	10383 5809 10393	Calcolatori elettronici I Elettronica applicata II Sistemi di telecomunicazione	1386 10389 10390	Misure elettriche Propagazione Reti di telecomunicazioni
V (*)	251	Economia ed organizzazione aziendale Elaborazione ottica dei segnali	2191	Microonde
		3 insegnamenti a scelta		

Insegnamenti a scelta coordinati in *orientamenti* (*Telematica, Tecnologico* ed altri) che verranno indicati nel manifesto degli studi dell'a.a. 1993/94:

— *Sistemi di commutazione (**)*
— *Trasmissione numerica (**)*
— *Compatibilità elettromagnetica (**)*
— *Progetto di circuiti a microonde (**)*
— *Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica (**)*
— *Ricerca operativa*
— *Calcolatori elettronici II*
— *Linguaggi e traduttori*
— *Sistemi informativi I*
— *Elettronica applicata III*
— *Microelettronica*
— *Strumentazione e misure elettroniche*
— *Elettronica quantistica*
— *Tecnologie dei sistemi di controllo*
— *Scienza delle costruzioni*
— *Qualunque altro insegnamento incluso nei piani di studio del Settore dell'Ingegneria dell'Informazione*

(*) Non attivato nella.a. 1992/93.
(**) Insegnamento non ancora attivato.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE

Il Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare dell'Università di Bologna è stato istituito, con l'avvio degli insegnamenti del III anno della Scuola di Applicazione, nell'a.a. 1961-62. Attualmente il Corso di Laurea, cui afferiscono in totale circa 500 studenti, è strutturato su 29 esami, di cui 6 a scelta dello studente e che fanno capo a due indirizzi di specializzazione: l'Indirizzo Impianti e l'Indirizzo Neutronico-Combustibile. Dei 29 esami, solo uno dei 10 relativi al Biennio propedeutico è caratteristico del Corso di Laurea e viene prescelto dallo studente al II anno. Gli altri 19 esami vengono sviluppati nel Triennio di applicazione, e l'orientamento più propriamente nucleare si profila a partire dal IV Anno dopo ed accanto ad una preparazione tradizionale nel settore di base dell'Ingegneria.

L'indirizzo *Impianti*, che è nato dalla fusione dei due precedenti indirizzi, Elettrico e di Progettazione Meccanica, ha lo scopo di fornire le conoscenze di base sulla problematica di progetto, sulle modalità di funzionamento e sulle tecniche di impiego e di gestione dei componenti elettrotermo-meccanici delle centrali nucleari.

L'indirizzo *Neutronico e Plasmi*, che è nato dalla fusione dei due precedenti indirizzi, Combustibili Nucleari e di Progettazione Neutronica, ha lo scopo non solo di ampliare le conoscenze fisiche di base, ma anche di illustrare i metodi, sia di calcolo che di carattere sperimentale, connessi con la progettazione neutronica di un reattore nucleare e di quella del ciclo di combustibile associato ad un reattore nucleare.

A) Anno acc. 91-92. Studenti (in complesso) per Facoltà, Corso di Laurea, anno di Corso e Sesso. Facoltà di Ingegneria.

NUOVO ORDINAMENTO

CORSI DI LAUREA	PRIMO		SECONDO		TERZO		FUORI C.		TOTALE	
	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.
01 Ingegneria chimica	139	37	98	18	55	18	10	2	303	75
02 Ingegneria civile	149	26	236	34	—	—	23	3	408	63
03 Ingegneria delle telecomunicazioni	30	8	23	4	72	4	1	—	126	16
04 Ingegneria edile	222	67	91	27	—	—	3	—	316	94
05 Ingegneria elettrica	88	3	89	2	44	1	11	—	232	6
06 Ingegneria elettronica	589	72	619	47	122	19	129	12	1459	150
08 Ingegneria informatica	135	18	34	7	122	5	1	—	292	30
09 Ingegneria meccanica	464	16	403	21	122	4	30	4	1009	45
10 Ingegneria nucleare	40	14	44	8	16	3	3	—	103	25
11 Ingegneria perl'ambiente e il terr.	111	23	39	8	—	—	1	—	151	31
TOTALI FACOLTÀ	1967	284	1676	176	543	54	212	21	4399	535

A) Anno acc. 91-92. Studenti (in complesso) per Facoltà, Corso di Laurea, anno di Corso e Sesso. Facoltà di Ingegneria.

VECCHIO ORDINAMENTO

CORSI DI LAUREA	TERZO		QUARTO		QUINTO		SESTO		FUORI C.		TOTALE	
	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.
02 Ingegneria meccanica	164	7	164	17	157	9			491	8	977	41
03 Ingegneria elettrotecnica	37	2	42	1	51	2			130	6	260	11
04 Ingegneria chimica	72	18	80	12	69	16			131	24	352	70
05 Ingegneria mineraria	43	9	17	2	13	1			65	8	138	20
06 Ingegneria elettronica	281	23	463	47	435	42			1466	121	2651	233
07 Ingegneria nucleare	15	2	15	3	18	4			73	9	121	18
08 Ingegneria civile sezione edile	244	42	156	28	120	27			63	8	123	21
09 Ingegneria civile sezione idraulica	30	7	15	3	14	3			63	8	123	21
10 Ingegneria civile sezione trasporti	31	4	39	2	32	7			73	6	175	19
TOTALI FACOLTÀ	917	114	991	115	909	111			3063	251	5888	591

DATI STATISTICI

B) Anno acc. 90-91. Studenti (in complesso) per Facoltà, Corso di Laurea, anno di Corso e Sesso. Facoltà di Ingegneria.

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	423	22	242	5	187	18	156	10	150	2	554	12	1712	57
03 Ingegneria elettrotecnica	96	3	61	2	51	1	47	2	43	1	128	5	426	14
04 Ingegneria chimica	105	20	116	38	89	16	70	16	57	10	113	23	550	123
05 Ingegneria mineraria	*42	*8	44	10	22	2	13	1	20	—	60	11	201	32
06 Ingegneria elettronica	819	75	663	61	506	53	443	43	428	44	1480	124	4339	400
07 Ingegneria nucleare	65	10	27	7	21	3	19	4	14	3	85	7	231	34
08 Ingegneria civile sezione edile	332	65	242	45	190	30	116	27	138	17	608	62	1626	246
09 Ingegneria civile sezione idraulica	—	—	25	3	18	2	15	3	24	5	48	2	130	15
10 Ingegneria civile sezione trasporti	1	—	23	3	34	1	29	7	17	2	74	7	178	20
TOTALI FACOLTÀ	5	1	1443	174	1118	126	908	113	891	84	3150	253	9393	941

* Ing. per l'ambiente e il territorio.

C) Numeri dei laureati, per i singoli Corsi di Laurea, negli ultimi cinque anni accademici

Anno accademico / Corsi di laurea		86/87	87/88	88/89	89/90	90/91
Ing.	Meccanica	90	87	79	133	95
	Elettrotecnica	30	14	15	15	28
	Chimica	30	17	23	13	22
	Mineraria	7	10	7	19	17
	Elettronica	171	230	258	285	277
	Nucleare	31	17	31	26	21
	Civile Edile	137	141	124	123	115
	Civile Idraulica	14	15	17	17	10
	Civile Trasporti	18	14	14	15	14
Totale Laureati Ingegneria		528	545	568	646	599

NORMATIVA DI SEGRETERIA

(Facoltà di Ingegneria, Via Saragozza 8 - Bologna)
Responsabile: Rag. Lamberto Lipparini

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 Zamboni, 33 - 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 all'89 certificato sostitutivo a tutti gli effetti del diploma e dichiarazione rilasciata dall'Istituto attestante l'impossibilità di rilasciare il diploma originale; i diplomati nel 90 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 nel- l'autentica della fotografia. In caso contrario presentare alla Segreteria un estratto del- l'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 Diplomati 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 diplomati presso l'Università di Bologna potranno omettere la presentazione di tale documento in quanto verrà richiesto d'ufficio).

N.B. I soli laureati o diplomati 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 attenere 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 il 7 settembre 1992.*

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 1992/93.

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'isccrizione 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 ottengano 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 — *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, sempreché 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 reiscrizione 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		Calcolo numerico e programmazione
Elementi di calcolo numerico e programmazione		Fondamenti di informatica
Programmazione dei calcolatori elettronici		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		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 — E' consentita la sostituzione di insegnamenti a scelta da parte degli studenti (di tipo c).

3 — 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, seguendo il criterio di massima di ritenere accettabili sostituzioni volte ad introdurre nel piano degli studi un gruppo di materie che lo caratterizzino), 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

IV anno Chi è interessato al corso di Idraulica può sceglierlo all'ultimo anno in sostituzione del corso libero dell'orientamento.

Università di Bologna
BIBLIOTECA INGEGNERIA
BOLOGNA

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 tre insegnamenti di uno stesso indirizzo.

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 similiari 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 1986/87 ai fini dell'assegno di studio e dell'esonero tasse per l'anno accademico 1987/88

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 dal- l'Ufficio Interventi Individuali al quale deve essere presentata documentata istanza, anche qualora non posseggano le sopraindicate condizioni di merito.

PROGRAMMI DELLE MATERIE DI INSEGNAMENTO

CORSI DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE E ING. EDILE

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

1349
ANALISI MATEMATICA I (per Civili ed Edili)
Docente: **Pier Luigi Papini** prof. ord.

Programma

Successioni e serie. Funzioni di una variabile reale; limiti, continuità. Derivazione. Integrazione. Curve piane.

Testi consigliati:

R.A. ADAMS, *Calcolo differenziale I - Funzioni di una variabile reale*, Casa Editrice Ambrosiana, 1992.
Un testo di esercizi (a scelta dello studente). Inoltre: *Prove di esame di Analisi matematica I*, Ed. Esculapio, Progetto Leonardo, Bologna 1992.

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 NUMERICA
Docente: **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 simplesso.
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 (per Civili ed Edili)
Docente: **Giovanni Milani** prof. ass.

Il corso si propone di presentare i fondamenti della Chimica a partire dalla struttura atomica, collegando ad essa la reattività degli elementi, la formazione dei diversi tipi di legame chimico e le proprietà delle sostanze semplici e complesse.

Si indicano i criteri da seguire per giustificare il decorso delle reazioni chimiche e per interpretare l'influenza di quanto su di esso può interferire in termini di rendimento e di velocità.

Si sottolineano alcuni temi di speciale interesse per l'ingegnere civile, quali i diagrammi di stato, gli equilibri ionici in soluzione acquosa, la corrosione elettrochimica.

Ampio spazio è riservato alla traduzione dei principi generali in considerazioni pratiche fondate anche sui risultati del calcolo numerico.

Programma:

— Struttura macroscopica e microscopica dei sistemi chimici. Struttura atomica della materia, struttura del nucleo e radioattività, struttura elettronica degli atomi. Sistema periodico degli elementi.
— Il legame chimico.
— I tre stati di aggregazione della materia: aeriforme, liquido e solido. Cambiamenti di stato e diagrammi di stato.
— Le soluzioni. Gli elettroliti e le soluzioni elettrolitiche.
— Le reazioni chimiche e l'equilibrio chimico.
— Elettrochimica.
— Cinetica chimica

Testi consigliati:

P. Chiorboli, *Fondamenti di Chimica*, ed. UTET.
B.H. Mahan, *Chimica Generale ed Inorganica*, ed. Ambrosiana.

Svolgimento dell'*esame*: discussione orale di argomenti svolti nel Corso e risoluzione di problemi ad essi inerenti.

1362
DISEGNO
Docente: **Valerio Valeriani** prof. ass.

Finalità del Corso: indirizzare l'allievo al pratico impiego dei metodi e dei procedimenti di rappresentazione in conformità alle esigenze di disegno tecnico, relativo a tematiche proprie dell'Ingegneria Civile.

Programma

— Fini del disegno tecnico. Il disegno «a mano libera» e geometrico. Strumenti. Norme ed unificazioni, specie in rapporto all'esigenza della prefabbricazione. Scritture e contenuti di informazione (intestazioni generali, sottotitoli ecc.). Riproduzioni disegni.

— Scale: i rapporti di scala più appropriati alle finalità documentative (planimetrie, insiemi, particolari ecc.).
— Figure piane: curve notevoli, raccordi, archi policentrici.
— Quote: scopo delle quote e criteri di quotatura; sistemi di quote e scelta dei riferimenti.
— Nozioni elementari di geometria proiettiva grafica.
— Proiezioni ortogonali.
— Sezioni piane (scopi, convenzioni, norme); sezioni cilindriche.
— Proiezioni oblique: teoria delle ombre ed applicazioni.
— Proiezioni quotate.
— Prospettiva concorrente (frontale ed accidentale).
— Assonometria (ortogonale ed obliqua); assonometrie unificate.
— Disegno di superfici semplici e complesse (rigate, di rotazione, elicoidali) particolarmente importanti per le opere di ingegneria civile. Innesti e raccordi di superfici; superfici sviluppabili. Applicazione nella carpenteria di collegamenti mobili (filettati) e fissi (chiodature, strutture saldate).
— Disegno di elementi edili architravati ed archivoltati, di strutture reticolari, di rampe di scale, di coperture a falde piane inclinate (semplici e complesse); disegno della planimetria, del profilo longitudinale e delle sezioni trasversali nel progetto di un tronco di strada ovvero di canalizzazione.
— Primo approccio alla documentazione grafica su basi razionali, con eventuale completamento di analisi di ricerca (storica, artistica, ecc.), di elementi tratti — a scelta dell'Allievo o di gruppi di Allievi — da opere esistenti, con particolare riguardo al loro inserimento nel tessuto territoriale.

Testi consigliati:

R. BALLETTI, V. VALERIANI, *Disegno*, Ed. Pitagora, Bologna.
M. VILLA, *Elementi di proiettiva grafica, geometria descrittiva, nomografia*, Ed. CEDAM, Padova.
Manuale dell'Architetto.

Le esercitazioni consistono nell'esecuzione di una prova extempore, che costituisce titolo valido per l'ammissione all'esame.

Gli esami comprendono una prova grafica e una prova orale. La prova orale è basata essenzialmente sulla «lettura» ragionata e interpretativa dei contenuti degli elaborati eseguiti durante l'anno.

1366
FISICA I (per Civili e Edili)
Docente: **Ignazio Massa** prof. straord.

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

a) *Calcolo vettoriale e Cinematica.*

Vettori liberi e applicati, loro proprietà e rappresentazioni. Operazioni con i vettori. Campi vettoriali. Gradiente. Cinematica del punto materiale. Velocità. Accelerazione. Descrizioni del moto. Studi di moti particolari. Cinematica dei sistemi rigidi. Problemi di moto relativo.

b) *Dinamica.*

Concetto di forza. Principio di inerzia e sistemi di riferimento inerziali. Il secondo principio e le sue conseguenze. Problemi di moto vincolato. Il terzo principio. Moti relativi e sistemi non inerziali. Lavoro e energia. Le interazioni «fondamentali». Relatività ristretta.

c) *Termodinamica.*

Temperatura e principio zero. Calore, lavoro e primo principio. Gas ideali. Il secondo principio. Reversibilità e irreversibilità. Entropia.

Testi consigliati:

D.E. Roller, R. Blum, *Fisica*, Volume 1, Zanichelli Editore.
M.W. Zemansky, M.M. Abbott, H.C. Van Ness, *Fondamenti di termodinamica per ingegneri*, prima parte, Zanichelli Editore.

Esercitazioni: costituiscono parte integrante del corso.

Esame: una prova scritta (problemi di meccanica e di termodinamica) più una prova orale (interrogazione sul programma, con possibile richiesta di facili applicazioni).

Propedeuticità consigliate: Analisi matematica I, Geometria e Algebra.

1370
FISICA II (per Civili ed Edili)
Docente: **Antonio Bertin** prof. ord.

Finalità del corso.

Fornire un quadro organico di istituzioni di elettromagnetismo e di ottica, sottolineando gli aspetti unitari delle discipline in questione, e mantenendo il riferimento alle

tematiche principali della fisica moderna. Assistere l'assimilazione del programma mediante la trattazione in aula di applicazioni e problemi.

Programma schematico. La legge di Coulomb e la conservazione della carica elettrica. Il campo elettrico ed il teorema di Gauss. Il potenziale elettrico e l'energia potenziale elettrica. I condensatori. I tre vettori elettrici. Corrente, densità di corrente, resistenza e resistività. La legge di Ohm. Trasformazione di energia nei circuiti elettrici. Forza elettromotrice e circuiti.

Il campo magnetico e la sua azione su un circuito percorso da corrente. Il vettore induzione magnetica, il teorema di Ampère e la legge di Biot-Savart. La legge dell'induzione di Faraday: induzione, autoinduzione, induzione mutua. Le proprietà magnetiche della materia. Il teorema di Gauss in magnetismo. Paramagnetismo, diamagnetismo, ferromagnetismo. Circuiti LC e oscillazioni elettromagnetiche. Elementi della teoria delle correnti alternate. Le equazioni di Maxwell: campi magnetici indotti e correnti di spostamento. Le onde elettromagnetiche e la loro propagazione. Il vettore di Poynting.

Natura e propagazione della luce. Effetto Doppler. Riflessione e rifrazione su superfici piane e sferiche: il principio di Huygens e sue applicazioni. I principali strumenti ottici. Interferenza ottica e sua trattazione: l'esperimento di Young. Interferenza da lamine sottili. La diffrazione: fenditura singola, doppia fenditura, reticoli. La legge di Bragg. Polarizzazione e birifrangenza. L'effetto fotoelettrico e l'avvento della fisica dei quanti. L'effetto Compton. Cenni su onde e particelle.

Testi consigliati:

R. BLUM, D.E. ROLLER, *Fisica*, vol. 2, Zanichelli, Bologna.
S. FOCARDI, *Problemi di Fisica Generale (elettricità, magnetismo, ottica)*, Ambrosiana, Milano, 1980.

Prova d'esame: L'esame comporta una prova scritta (che consiste nella soluzione di un problema del livello di quelli trattati in aula durante il corso) e di una prova orale, più specificamente volta ad accertare la preparazione sulla parte concettuale del programma.

Propedeuticità consigliate: Analisi matematica II, Fisica I.

9757
GEOMETRIA E ALGEBRA (per Civili ed Edili)
Docente: **Luigi Cavalieri D'Oro** prof. ord.

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

degenere — 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 — iperboloide, paraboloide ed ellissoide 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.

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 particellare 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: **Franco Sandrolini** prof. ord. (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** comuni a tutte le sezioni.

51

ARCHITETTURA TECNICA (Edili, ind.: Architettura A, B, C; Costruzioni, Impianti)
Docente: **Ivo Tagliaventi** prof. ord.

Finalità del corso

1. Mira a fornire agli allievi ingegneri civili i mezzi culturali d'indirizzo critico-analitico nel settore delle tecnologie architettoniche, esaminando particolarmente i rapporti fra i materiali, le tecniche, le forme e le funzioni;
2. sollecita gli allievi all'acquisizione di una metodologia progettuale;
3. si svolge per mezzo di lezioni, esercitazioni, seminari, conferenze e visite di studio.

Programma

Le lezioni vertono sui procedimenti costruttivi, gli «elementi di fabbrica» e i dettagli costruttivi, dei quali mette in risalto le tipologie, i caratteri statici, le regole sistemiche di aggregazione, i problemi economici, il comportamento nel tempo. Esse sono integrate con interventi di esperti esterni e con visite a cantieri di costruzioni e stabilimenti di produzione per l'edilizia.

Le *esercitazioni* consistono in:

a. coerentemente coll'esame dei suddetti rapporti, lettura di un organismo architettonico esistente;

b. ai fini dell'acquisizione di un metodo, progettazione globale di un edificio non complesso;

c. come verifica dell'esperienza a mano a mano maturata, un certo numero di prove «estemporanee» nell'aula di disegno.

Al termine del corso si svolge la discussione seminariale sui progetti elaborati.

L'*esame* di profitto consiste in una prova scritta e in una prova orale.

Agli studenti vengono fornite indicazioni bibliografiche di base nonché dispense redatte dal docente.

Gli studenti iscritti al corso sono obbligati alla regolare frequenza sia delle lezioni sia delle esercitazioni.

51
ARCHITETTURA TECNICA (Edili, ind.: Architettura D, Territorio, Ambiente; Idraulici; Trasporti)
Docente: **Adolfo Cesare Dell'Acqua** prof. ord.

Finalità del corso

Il corso si propone di fornire le informazioni e gli strumenti operativi per lo studio dei rapporti tra le diverse dimensioni dell'organismo architettonico e la componente tecnica, e per l'integrazione della metodologia progettuale nelle fasi del processo edilizio.

L'indirizzo del corso è orientato ad approfondire i legami della tipologia e della tecnologia edilizia con le diverse componenti dell'ambiente e del contesto urbano e territoriale.

Programma

Riferimenti metodologici di base. Lettura strutturale dell'organismo architettonico nelle sue diverse dimensioni. Correlazione e sintesi delle componenti ambientali e tecnologiche nelle fasi di progettazione e realizzazione dell'oggetto edilizio. Continuità delle diverse scale di intervento sul territorio. La tipologia edilizia nell'applicazione progettuale.

L'organizzazione dell'attività edilizia: rapporti tra prodotto e processo edilizio. Specificazioni del concetto di sistema in edilizia. Fasi sistematiche del processo edilizio: programmazione, progettazione, produzione, esecuzione, gestione. Gli operatori del processo edilizio. Modelli di sviluppo, operativi e organizzativi del processo.

La progettazione del sistema edilizio: riferimenti alla progettazione ambientale e fasi di collegamento con la progettazione tecnologica. Criteri di progettazione tipologica. Procedure e fasi della progettazione tecnologica. Studio delle frontiere. Metodi ed esperienze di progettazione dei componenti in rapporto ai processi d'industrializzazione edilizia.

Analisi dei materiali edilizi e organizzazione del sistema costruttivo. Fattori condizionanti i procedimenti costruttivi nella progettazione. Studio dell'involucro edilizio in rapporto alle diverse componenti ambientali, formali e tecnologiche. Tipologia dei sistemi costruttivi, degli elementi tecnici e delle connessioni; analisi delle prestazioni tecnologiche e applicazioni progettuali. La componente tecnologico-costruttiva nella progettazione a scala territoriale e relazioni con il contesto costruito.

Aspetti di componibilità geometrica e applicazione della coordinazione modulare alla progettazione tipologica e tecnologica. La normativa tecnica, qualitativa e dimensionale. Aspetti della qualità edilizia ai diversi livelli di valutazione e controllo.

Esercitazioni

Le esercitazioni vertono su una lettura critica di organismi edilizi esistenti, nell'ambito di una definita tipologia e destinazione funzionale, e nella successiva elaborazione di una proposta progettuale, con riferimento a uno studio monografico su elementi del sistema tecnologico.

Testi consigliati:

I. TAGLIAVENTI, *L'organismo architettonico. Vol. I, Sistemi e Strutture*, Ed. CLUEB, Bologna, 1988.
E. MANDOLESI, *Edilizia*, UTET, Torino, 1978.
P.L. SPADOLINI et al., *Design e Tecnologia*, L. Parma, Bologna, 1974.
M. ZAFFAGNINI et al., *Progettare nel processo edilizio*, L. Parma, Bologna, 1981.
A. PETRIGNANI, *Tecnologie dell'architettura*, Görlich, Milano, 1981.
P.N. MAGGI, L. MORRA, *Coordinazione modulare*, F. Angeli, Milano, 1975.
T. KONCZ, *La prefabbricazione residenziale e industriale*, Ed. Bauverlag, Milano, 1966.

2010
COMPLEMENTI DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI
Docente: **Claudio Ceccoli** prof. ord. (inc.)

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. *Le lastre curve di rivoluzione*. Definizioni e relazioni di carattere geometrico. Le azioni interne. Il regime di membrana con carichi aventi simmetria 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 precompresse. 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 alle differenze finite. Notizie pratiche ed esempi costruttivi. *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. *Dinamica delle strutture*. Vibrazioni naturali. Il metodo energetico. Il metodo di Rayleigh, l'influenza della massa del vincolo. Vibrazioni forzate. Caso generale di una forza variabile non periodica. Studio delle vibrazioni naturali.

9431
COMPLEMENTI DI TOPOGRAFIA
Docente: **Marco Unguendoli** prof. ord. (inc.)

Programma

Strumenti moderni per il rilievo topografico e geodetico, modalità di impiego e trattamento dei risultati delle misure.

Automazione nel rilievo di dettaglio: operazioni di misura e di registrazione dati con strumenti integrati, calcolo e restituzione grafica e numerica del rilievo mediante l'uso dell'elaboratore elettronico e del plotter.

Complementi di teoria della compensazione delle misure: calcolo e compensazione delle reti altimetriche e planimetriche; analisi degli errori; metodi di progettazione ed ottimizzazione delle reti.

Applicazione di metodi topografici alle soluzioni di problemi di ingegneria:

— tracciamento di opere di ingegneria civile con particolare riferimento a manufatti di grandi dimensioni e a opere realizzate mediante tecniche di prefabbricazione.
— progetto, materializzazione e rilievo di reti di controllo dei movimenti e delle deformazioni del suolo e delle strutture; tecniche di analisi numerica dei risultati.
— misura diretta di piccoli spostamenti orizzontali e verticali per il controllo e il collaudo della struttura mediante l'impiego di strumenti speciali.
— misure per la verifica della rispondenza geometrica e dimensionale tra progetto e struttura realizzata.

Fotogrammetria dei vicini: applicazione della tecnica fotogrammetrica al rilievo architettonico e ai rilievi di controllo delle strutture e degli elementi costruttivi.

Elementi di cartografia numerica: formazione ed aggiornamento delle carte; cartografia catastale: utilizzazione e processi di automazione.

198
COSTRUZIONE DI PONTI
Docente: **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 precompresse. 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.

204
COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI
Docenti: **Alberto Bucchi** prof. ord. (Civili A-K)
Pier Vincenzo Righi prof. ord. (Civili L-Z)

Programma

Parte I - Studio dei tracciati. Problema generale. Traffico, motori, veicoli. Trazione. Bilancio di esercizio. Elementi del tracciato nei riguardi tecnici ed economici. Confronto fra i tracciati. Studio e redazione dei progetti. Strade ordinarie, ferrovie, strade e ferrovie speciali, aeroporti.

Parte II - Il terreno. Natura e giacitura delle rocce. Le terre. Caratteristiche dei terreni nei riguardi della capacità portante, della spinta, e del comportamento in presenza di acqua. La granulometria, i limiti di Atterberg, attrito interno e coesione. Classificazione dei terreni. Prove sperimentali edometriche, C.B.R., e mediante l'apparecchio triassiale. Gli indici di gruppo. Prove penetrometriche.

Parte III - Il corpo stradale. Forma, rappresentazione e misura del corpo stradale. Scavo delle terre ed abbattimento delle rocce con mezzi ordinari, meccanici e con esplosivi. Trasporti e loro costo. Scelta dei mezzi di trasporto ed organizzazione dei cantieri. Distribuzione delle terre. Scavo delle trincee e costruzione dei rilevati. Consolidamento e compattazione dei terreni. Stabilità delle scarpate. Preparazione del piano di posa. Spinta delle terre. Muri di sostegno di vario tipo. Opere di protezione e continuità del corpo stradale. Opere aeree di continuità: ponti, ponticelli, ecc. Ubicazioni, luci, tipo dei ponti; disposizioni di imbocco e di accompagno.

Parte IV - Gallerie: previsioni geologiche; provvedimenti richiesti dalla temperatura della roccia, dalle sorgenti d'acqua, dalle emanazioni gassose. Azioni contro le armature ed i rivestimenti. Tracciamento. Vari metodi di esecuzione in rapporto con la natura ed il comportamento della roccia. Armature, rivestimenti, accessori. Condutture, mine, trasporti, ventilazione. Organizzazione dei cantieri. Attacchi da pozzi e finestre. Gallerie suburbane e subacquee. Ferrovie metropolitane. Raddoppio delle gallerie. Riparazioni. Costo.

Parte V - Soprastrutture. Materiali, loro qualità; prove di laboratorio e su strada. Vari tipi di soprastrutture delle strade ordinarie. Soprastruttura ferroviaria. Piste per aeroporti. Organizzazione dei cantieri e della manutenzione.

Parte VI - Amministrazione: metodi di assegnazione dei lavori. Vari tipi di gare di appalto. Cenno sulle norme legislative e regolamentari. Contabilità, direzione, liquidazione, collaudo. Espropriazioni. Piani parcellari. Volture. Finanziamento dei lavori. Concessioni.

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.

6621
ECONOMIA ED ESTIMO CIVILE
Docenti: **Alberto Corlaita** prof. ord. (inc.) (Civili)
Alessandro Romagnoli prof. ass. (Edili)

Programma

1) *Principi di Economia generale.*
a) Nozioni di Microeconomia
L'uomo consumatore. L'uomo produttore. L'uomo prestatore dei mezzi di produzione. L'uomo imprenditore.
b) Nozioni di Macroeconomia e di Politica economica
Il regime fiscale, la moneta, le banche, il commercio internazionale. Reddito e contabilità nazionale. Sviluppo economico e programmazione. Le borse valori e la borsa merci.

2) *Nozioni generali di Matematica finanziaria.*

3) *Estimo generale*
Momenti della valutazione. Casistica estimativa. Le fasi di elaborazione della stima. La classificazione dei dati elementari. La stima dei dati ipotetici. La scelta dell'aspetto economico. I procedimenti di stima. Il giudizio di stima. I rapporti fra i valori economici e la loro surrogabilità. La stima per capitalizzazione.

4) *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.

5) *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 immobilicare*, 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.

275
ELETTROTECNICA
Docenti: **Fiorenzo Filippetti** prof. ass. (Civili A-K)
Riccardo Miglio prof. ass. (Civili 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 traferro.
Macchine asincrone: generalità. Funzionamento a carico, a vuoto e in corto circuito. Equazioni e circuiti equivalenti. Coppia, perdite e rendimento. Motori a gabbia. Problemi di avviamento. Regolazione della velocità.
Macchine sincrone: generalità. 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, C. TASSONI, *Circuiti elettrici in corrente continua*, Ed. Pàtron, Bologna.
R. MIGLIO, C. TASSONI, *Trasformatori monofasi, trifasi e speciali*, Ed. Pàtron, Bologna.
R. MIGLIO, C. TASSONI, *Circuiti magnetici in corrente continua e alternata*, Cooperativa Libraria Universitaria Editrice, Bologna.
R. MIGLIO, *Appunti di Elettrotecnica*, Parte I e Parte II, Cooperativa Libraria Universitaria Editrice, 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 Minerari)
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
Docente: **Maurizio Barbarella** prof. ass.

Programma

1) *La storia ed i fondamenti*

Note storiche sulla nascita e lo sviluppo della fotogrammetria. Posizione della fotogrammetria nell'ambito delle tecniche del rilevamento a distanza e della rappresentazione.

2) *I sensori e l'assunzione dei dati*

I sensori più usati. Emulsioni fotografiche e relativi supporti. Cenni sulla colorimetria: valenza cromatica e tavola cromatica. I tagli di frequenza ed i filtri. Visione e stereoscopia.

La stereoscopia artificiale e l'incremento della sensibilità stereoscopica. Le anaglifi, i filtri polarizzanti, gli stereoscopi. La marca mobile e le sue realizzazioni. La geometria delle camere fotogrammetriche.

Macchine per la ripresa aerea. Macchine per la ripresa terrestre. Macchine semi-metriche. Taratura delle camere fotogrammetriche e relative certificazioni. Trend sulla costruzione delle camere; le camere a pixel.

Voli fotogrammetrici. Scala media dei fotogrammi. Trascinamento e problemi relativi. Accessori per la navigazione fotogrammetrica.

3) *La trasformazione proiettiva*

Richiamo sulle matrici di rotazione. Relazione fra coordinate di lastra e coordinate nel sistema assoluto. Trasformazione proiettiva di una coppia di fotogrammi. Orientamento esterno di un fotogramma. Orientamento esterno di una coppia. Il procedimento di O. von Gruber: orientamento relativo ed assoluto. La soluzione analogica dei problemi dell'orientamento. La restituzione per punti e per linee.

4) *La trasformazione fotografica*

Il caso degli oggetti piani. La geometria del raddrizzamento. Il raddrizzamento analogico e le condizioni ottico-meccaniche corrispondenti. Gli oggetti tridimensionali ed il raddrizzamento differenziale: l'ortofotoproiezione analitica. L'ortofotoproiezione analogica.

5) *I punti di appoggio*

Determinazione topografica dell'appoggio fotogrammetrico. Determinazione fotogrammetrica dei punti di appoggio: il concatenamento di più fotogrammi. La triangolazione aerea per modelli indipendenti. Cenno sulla triangolazione per fasci proiettivi. Panoramica sui programmi di triangolazione disponibili in Italia.

6) *Gli strumenti per la restituzione*

Stereo- e monocomparatori. Puntinatori. La nascita del restitutore analitico secondo Helava. I restitutori analitici più noti, esame comparativo. I Tavoli piani ed a rullo con microprocessore. Trend di sviluppo dei restitutori analitici e cenno sulla correlazione delle immagini. Il restitutore analogico e la tipologia corrispondente. Esame comparativo dei più noti restitutori analogici. Organi fondamentali dei restitutori analogici. Il raddrizzatore. Ortoproiettori analitici ed analogici. Gli strumenti per la restituzione approssimata. Possibilità di restituzione di prese terrestri con mezzi semplici.

7) *La restituzione cartografica e la produzione fotogrammetrica*

Le carte prodotte con la fotogrammetria. La produttività del metodo; confronto coi mezzi topografici. La situazione imprenditoriale italiana e cenni sulla situazione nell'area del MEC. I capitolati d'appalto ed i collaudi in corso d'opera.

La fotogrammetria per la pianificazione territoriale. La cartografia a grande e grandissima scala.

La fotogrammetria dei vicini e le sue applicazioni ingegneristiche. La cartografia numerica ed i problemi dei sistemi informativi territoriali. L'aggiornamento della cartografia. La cartografia tematica. Cenni sulla fotointerpretazione e sul telerilevamento. Le riprese multispettrali, i sensori all'infrarosso, i sensori attivi a microonde.

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.

Testi consigliati:

1) Carloni G.C., *Litologia e Geologia*, ed. Pitagora.
2) Trevisan L., Giglia G., *Introduzione alla geologia*, Pacini editore..
3) Autori Vari, *Geologia tecnica*, ed. I.S.E.D.I.
4) Autori Vari, *La dinamica della Terra*, Letture da «Le Scienze», ed. Mondadori.

2007
GEOTECNICA (per Civili e Minerari)
Docente: **Pier Vincenzo Righi** prof. ord. (inc.)

Finalità del corso: Fornire agli allievi le principali nozioni relative alle caratteristiche di comportamento fisico-meccanico dei terreni e la conoscenza delle prove sperimentali per la loro determinazione. Tali nozioni sono fondamentali per la scelta ed il dimensionamento delle fondazioni delle costruzioni civili.

Programma

1) Introduzione e premesse generali - Vari tipi di suolo e loro caratteristiche fondamentali - Proprietà delle particelle fini.

2) Caratteristiche fisiche delle terre e loro determinazione sperimentale - Umidità - Densità - Peso specifico reale - Porosità e indice dei vuoti - granulometria - limiti di Atterberg - permeabilità. 3) Caratteristiche meccaniche delle terre e loro determinazione sperimentale - Compressibilità (teoria dell'edometro) - Angolo di attrito interno e coesione (prova di taglio Casagrande - prova triassiale - prova di taglio con scissometro). 4) Prove in situ - 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 rigidezza nulla e a rigidezza 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.

Testi consigliati:

P. COLOMBO, *Elementi di Geotecnica*.
C. CESTELLI GUIDI, *Geotecnica e tecnica delle fondazioni*.
TERZAGHI-PECK, *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.

490
IDRAULICA (per Civili, Minerari e Nucleari)
Docenti: **Gianni Luigi Bragadin** prof. ord. (Civili A-K e Minerari)
Antonello Rubatta prof. ord. (Civili L-Z e 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 Stockes. 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.

688
MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE E MACCHINE
Docente: **Marco Gambini** prof. ass.

Finalità del corso: il corso intende fornire all'allievo ingegnere civile i principi di base dei gruppi di conversione dell'energia diretti ed inversi e delle macchine ad essi relativi. Esamina le prestazioni delle macchine medesime, con particolare riguardo ai fenomeni dissipativi che in essi si verificano e studia la loro interconnessione con i gruppi cui sono destinate con particolare riferimento alle utilizzazioni di maggiore interesse per il settore dell'ingegneria civile.

Programma

1) Gruppi di conversione dell'energia da termica a meccanica (a vapore, a gas, a cicli binari). Gruppi di cogenerazione. Gruppi frigoriferi.
2) Caldaie per riscaldamento e per vapore.
3) Componenti delle macchine e fenomeni dissipativi (attrito). Rendimento meccanico.
4) Sistemi articolati (quadrilateri, manovellismo di spinta).
5) Macchine volumetriche: compressori di gas, motori a carburazione ed a iniezione (diesel).
6) Turbomacchine a vapore ed a gas (turbine ad azione, a reazione, miste, a doppio flusso).
7) Velocità critiche degli alberi.
8) Turbomacchine idrauliche: turbine ad azione e reazione e pompe centrifughe.
9) Trasmissioni ad organi flessibili e apparecchi di sollevamento.

Propedeuticità: Meccanica razionale, Fisica Tecnica, Scienza delle Costruzioni.

L'*esame* è costituito da una prova orale.
Indirizzo delle *tesi di laurea*: applicativo progettistico.

890
SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (per Civili e Minerari)
Docenti: **Angelo Di Tommaso** prof. ord. (Civili A-K e Minerari)
Agostino Cannarozzi prof. ord. (Civili L-Z)

Il corso si propone di fornire gli elementi fondamentali del calcolo strutturale con particolare riferimento alle ipotesi, ai principii 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.

1026
TECNICA DELLE COSTRUZIONI
Docenti: **Claudio Ceccoli** prof. ord. (Civili A-K)
Roberto Alessi prof. ord. (Civili L-Z)

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 precompresse. 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.

2008
TECNICA DELLE FONDAZIONI (semestrale) (Civili e Minerari)
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.

1034
TECNICA URBANISTICA
Docenti: **Carlo Monti** prof. ord. (Edili, ind.: Architettura A, B; Costruzioni)
Giovanni Crocioni prof. ass. (Edili, ind.: Architettura C, D, Territorio)

I corsi affrontano la pianificazione territoriale come insieme di metodi di programmazione, progettazione, gestione del territorio, finalizzati ad un pieno ed equilibrato uso delle risorse.

Le lezioni e le esercitazioni pratiche si propongono quindi di fornire una consapevolezza critica generale dei problemi, e di assicurare il controllo dei criteri e degli essenziali strumenti di lavoro necessari per l'organizzazione del territorio alle diverse scale (regionale, subregionale, urbana).

Programma

Una prima parte del programma è dedicata ad un'informazione sui problemi attuali della città e del territorio.

In particolare viene seguito il processo di trasformazione storica della città, il mutare del rapporto città-campagna, i massicci fenomeni migratori sul territorio nazionale e regionale, la crescita incontrollata delle grandi agglomerazioni urbane e produttive, per giungere a definire i fini che oggi si può porre la pianificazione territoriale, in stretta connessione con la programmazione economica, per un pieno utilizzo delle risorse e per uno sviluppo equilibrato, attraverso una politica di soddisfacimento del fabbisogno abita-

tivo che ponga in primo piano il recupero del patrimonio esistente (di abitazioni, servizi, strutture produttive agricole e industriali).

Posti i fini della pianificazione territoriale ai diversi livelli (regionale, subregionale, urbano), viene operato un confronto con le teorie urbanistiche, con gli studi e le esperienze condotti in Italia ed in altri paesi e con gli strumenti che la legislazione urbanistica ha offerto ed offre attualmente al pianificatore.

Ci si propone in tal modo di definire per ogni livello di piano i fini, i contenuti, i metodi operativi.

Infine vengono analizzati sistematicamente gli strumenti e le tecniche della pianificazione territoriale, con particolare riguardo al Piano Comprensoriale, al Piano Regolatore Generale, agli strumenti di attuazione (Piani Particolareggiati, Piani P.E.E.P., Piani per gli Insediamenti Produttivi).

I programmi delle lezioni dei due corsi sono sistematicamente arricchiti da comunicazioni esterne, riferite particolarmente ad esperienze significative in corso nella regione emiliana, in modo da fornire un'approfondita conoscenza di problemi operativi. Anche le attività di esercitazioni sono condotte su temi concreti e su ambiti territoriali definiti e, ove possibile, con rapporti diretti con le comunità locali e gli organi preposti alla pianificazione del territorio.

Esami ed esercitazioni

I corsi dispongono di un fascicolo di dispense che rappresentano il riferimento dell'intero programma di lezioni.

Le attività di esercitazione sono obbligatorie: l'esame si svolge sul tema sviluppato e comporta anche la conoscenza dei contenuti delle dispense.

Le esercitazioni si svolgono per gruppi di ricerca; l'attività si sviluppa fino alla elaborazione di un tema personale per ogni studente.

Propedeuticità consigliate:

Per affrontare utilmente il corso di Tecnica Urbanistica è opportuno che lo studente abbia già seguito i precedenti corsi di Disegno, Architettura Tecnica e Istituzioni di Diritto pubblico e privato.

Tesi di Laurea:

Le tesi di laurea affrontano problemi emergenti delle realtà territoriali e, di frequente, delle aree di provenienza degli studenti laureandi.

Un tema ricorrente riguarda le analisi e le ricerche per l'elaborazione del Piano Comprensoriale, ed è già stato condotto per numerose aree emiliane, toscane, dell'Umbria, del Veneto, della Calabria. Per le medesime aree geografiche sono state anche elaborate tesi più specifiche, aventi come oggetto l'elaborazione di Piani Regolatori Generali o di piani di settore, per i centri storici, per le aree a parco, per i servizi.

Sono stati affrontati anche temi di ricerca, sui problemi dell'università a scala regionale e locale, sulla residenza universitaria, sul decentramento amministrativo, sulle teorie urbanistiche, sul decentramento industriale, sul rapporto fra agricoltura e industria, sul fabbisogno abitativo e sul problema della casa. Per questi, e per altri temi di ricerca, gli elaborati di tesi sono pervenuti alla definizione dei criteri qualitativi e quantitativi necessari per procedere all'intervento progettuale sul territorio oggetto di analisi.

Il coordinamento con altri corsi, in sede di tesi di laurea, avviene principalmente con i corsi del V anno del medesimo istituto (Architettura e Composizione Architettonica, Caratteri distributivi e soprattutto, per evidenti motivi, Complementi di Tecnica Urbanistica). Sono state svolte tesi coordinate (formalmente o informalmente) anche con altri corsi della facoltà (di Trasporti, di Idraulica, il corso di Litologia e Geologia, quello di Economia ed Estimo etc.) e con corsi esterni, ed Enti e ricercatori dell'area emiliana.

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

1034
TECNICA URBANISTICA
Docente: **Guido Ronzani** prof. ass. (Edili, ind.: Ambiente, Impianti; Trasporti)

Il Corso è strutturato secondo quattro raggruppamenti di argomenti che trattano delle tematiche fondamentali della disciplina Urbanistica, dalla scala della città a quella del territorio, con la finalità di mettere lo studente in grado di conoscere le origini e le evoluzioni, fino alle più attuali, delle tecniche necessarie per analizzare, pianificare e progettare interventi sulla città e sui modi d'uso delle risorse.

Tale trattazione teorica trova un riscontro applicativo nelle esercitazioni, che traducono operativamente, attraverso un'esperienza progettuale alla scala di settore urbano, le tecniche e le metodologie trattate nelle lezioni.

Programma

Cenni storico ed evoluzione legislativa

Vengono introdotti gli elementi fondativi e formativi che hanno contribuito a configurare la disciplina dell'urbanistica moderna, con un riferimento particolare alle teorizzazioni di Le Corbusier ed all'uso dello «zoning» di matrice razionalista.

Si definiscono gli strumenti fondamentali della pianificazione urbanistica italiana in relazione ai diversi obiettivi e livelli amministrativi del territorio, sulla base di un excursus sulla legislazione urbanistica vigente esaminata sinteticamente in diacronico, ponendo in evidenza il processo evolutivo ed i problemi irrisolti.

In conclusione un rapido parallelo con la strumentazione e le politiche urbanistiche attuate nei principali Paesi europei finalizzato ad aprire il campo di osservazione verso una auspicabile integrazione in ambito CEE.

La strumentazione per il governo dell'urbanistica

Si approfondisce in maniera critica la conoscenza del PRG comunale e dei suoi strumenti attuativi in vigore nella legislazione urbanistica nazionale e regionale (con particolare riferimento a quella della Regione Emilia-Romagna). L'esame parte dalla struttura di piano prevista dalla Legge Urbanistica del 1942 e si sviluppa attraverso le successive

innovazioni introdotte nella teoria e nella prassi.

Viene quindi sinteticamente affrontato il settore dell'Economia Urbana, con particolare riferimento agli strumenti per il controllo della produzione insediativa: dagli standard urbanistici agli oneri di urbanizzazione, fornendo semplici nozioni di econometria e di stima dei costi delle opere urbanizzative, in linea con le più attuali concezioni della contabilità urbana.

Elementi di analisi e progettazione della città e del territorio.

Si trattano i problemi connessi alla «forma», sia alla scala urbana che territoriale, come mezzo di conoscenza e comprensione dell'evoluzione dei fenomeni urbani ai fini di una più corretta azione di pianificazione.

In tale ambito viene dato risalto al dibattito sviluppatosi sui Centri Storici, presentati come l'acquisizione e traduzione operativa dei concetti di «salvaguardia» e di «recupero» (funzionale e formale) delle testimonianze storico-artistiche alla scala della città.

Il superamento della dimensione urbana, attraverso il riconoscimento dei livelli metropolitano e regionale delle loro caratteristiche e problematiche, viene analizzato, infine, soprattutto sotto il profilo delle più opportune scale di pianificazione e progettazione, sia settoriale che complessiva, del territorio urbanizzato, ampi riferimenti vengono fatti a piani e realizzazioni sia nazionali che esteri.

Territorio paesaggio e ambiente: i nuovi obiettivi

In conclusione vengono trattate le problematiche relative al controllo e alla pianificazione dell'ambiente complessivo dell'uomo, con particolare attenzione al settore del Paesaggio, inteso come manifestazione percepibile e forma intenzionale del territorio.

Della specifica disciplina della Paesaggistica vengono dati gli elementi generali utili alla comprensione e progettazione dei Parchi, strumenti emergenti della politica di tutela del territorio; ai sistemi paesaggistici ed ambientali, inoltre, vengono applicate le tecniche di analisi e valutazione proprie della metodologia di «pianificazione ecologica».

La trattazione, in conclusione, della Valutazione d'Impatto Ambientale è orientata soprattutto alla conoscenza delle metodologie e delle tecniche proprie di questa disciplina in quanto applicabili alla scala urbanistica ed è finalizzata all'introduzione di tecniche e di strumenti innovativi nella pianificazione territoriale tali da contribuire ad ampliarla ed integrarla con connotazioni più «ambientali».

Esercitazioni ed esami

L'*esercitazione* si svolge per gruppi di studenti, ed è obbligatoria per il superamento dell'*esame* di profitto, che verterà inoltre sulla conoscenza degli argomenti del corso.

Scopo dell'esercitazione è quello di indurre lo studente all'applicazione delle tecniche più elementari di analisi, interpretazione e progettazione urbanistica alla scala di quartiere o di settore urbano. Essa consiste nella redazione di un piano/progetto per il recupero di porzioni del tessuto edilizio urbano in abbandono o trascurate dal processo insediativo, nella periferia bolognese, in linea con le indicazioni del PRG vigente.

Bibliografia fondamentale consigliata

AYMONINO C., *Lo studio dei fenomeni urbani*, Officina, Roma, 1977.
BENEVOLO L., *Storia dell'architettura moderna*, Laterza, Bari, 1971 (Capp. III-XI-XV, Conclusione).
BETTINI V., *Elementi di analisi ambientale per urbanisti*, CLUP-CLUED, Milano, 1986.
BRUSCHI S., *Valutazione di impatto ambientale*, Ed. delle Autonomie, Roma, 1984.
CHOAY F., *La città - Utopie e realtà*, Einaudi, Torino, 1973 (Volume II).
CULLEN G., *Il paesaggio urbano-morfologia e progettazione*, Calderini, Bologna, 1976.
ERBA V., *Il piano urbanistico comunale*, Ed. delle Autonomie, Roma, 1978.
ERBA V., *L'attuazione dei piani urbanistici*, Ed. delle Autonomie, Roma, 1978.
FABBRI P., *Introduzione al paesaggio come categoria quantificabile*, CELID, Torino, 1984.
GOTTMANN J., *La città invincibile*, F. Angeli, Milano, 1983.
KRIER R., *Lo spazio della città*, CLUP, Milano, 1983.
MONTI C., RONZANI G., *Elementi di Tecnica Urbanistica*, CLUEB, Bologna, 1989.
MORBELLI G., *Un'introduzione all'urbanistica*, F. Angeli, Milano, 1986 (Capp. 1-2-7).
RONZANI G., *Verso una pianificazione urbanistica europea*, Li Causi, Bologna, 1984.
RONZANI G., *L'insediamento urbano - I costi e gli oneri*, Maggioli, Rimini, 1984.

5692
TEORIA DEI SISTEMI E DEL CONTROLLO
Docente: **Gloria Capitani Catelli** prof. ass.

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. Propolazioni 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 matematici 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-costo 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.

1061
TOPOGRAFIA
Docenti: **Alberto Gubellini** prof. straord. (Civili A-K)
Vladimiro Achilli prof. ass. (Civili L-Z)

Programma

La posizione generale del problema del rilievo: - Richiami analitici e definizione della superficie di riferimento - Il geoide e l'ellissoide terrestre - La geometria dell'ellissoide di rotazione - I fondamenti teorici della geodesia operativa - Determinazione delle coordinate

curvilinee dei punti sulla superficie di riferimento - La rappresentazione dell'ellissoide sul piano: le rappresentazioni cartografiche - Teoria della compensazione delle misure - Elementi di statistica e di calcolo delle probabilità - La compensazione delle osservazioni dirette, indirette e condizionate - Strumenti e operazioni di misura: misura di angoli azimutali e zenitali - Misura diretta e indiretta delle distanze - Misura di distanze con onde modulate - Misure dirette e indirette delle differenze di quota: livelli - Operazioni per il rilievo topografico: triangolazioni e trilaterazioni, metodi di intersezione, poligonali, rilievo dei dettagli - Metodi operativi, di calcolo e di compensazione delle diverse fasi di rilievo topografico - Determinazione delle differenze di quota: livellazioni trigonometriche e geometriche - Le operazioni topografiche per il progetto, il tracciamento e il controllo di opere di ingegneria civile - Principi fondamentali del rilievo fotogrammetrico.

Testi consigliati:

G. FOLLONI, *Principi di Topografia*, 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.

CORSI DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE ED ING. EDILE

Programmi delle materie di insegnamento.

2006
ACQUEDOTTI E FOGNATURE (semestrale)
Docente: **Pietro Guerrini** prof. ord. (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.

5564
ACUSTICA APPLICATA ED ILLUMINOTECNICA
Docente: **Alessandro Cocchi** prof. ord. (inc.)

Il Corso affronta le problematiche poste dalla realizzazione delle grandi opere edili destinate soprattutto a servizi sociali (teatri, sale per conferenze, scuole, campi sportivi, aeroporti etc.) in cui notevole rilievo presentano sia le caratteristiche acustiche sia le tecniche di corretta illuminazione degli spazi. Tali problematiche, unitamente a una informazione di base dei principi fisici e psicofisici da cui dipendono, devono essere presenti in ogni fase della progettazione architettonica e strutturale di qualsiasi realizzazione edile.

Programma

a) ACUSTICA APPLICATA — *Acustica fisica.* Caratteristiche fondamentali del fenomeno sonoro; studio della vibrazione elementare; densità ed intensità di energia sonora; propagazione del suono in un mezzo omogeneo ed isotropo; onde piane, sferiche, stazionarie. *Acustica psicofisica.* Classificazione e valutazione fisica delle perturbazioni sonore; proprietà particolari della sensazione uditiva; curve isofoniche e curve pesanti A, B, C, D, E. *Acustica architettonica.* Impostazione, limiti e difficoltà del problema acustico degli ambienti chiusi, propagazione dell'energia sonora in mezzi non omogenei, coefficiente di assorbimento apparente; il fenomeno delle riflessioni multiple in un ambiente chiuso; ipotesi sulla quale è fondata la relazione di Sabine; densità sonora di regime; correzione acustica degli ambienti chiusi; teoria dell'acustica geometrica; esempi di progettazione di grandi complessi sociali: teatri, cinematografi, sale di riunione, scuole ed industrie in genere. *Il controllo della rumorosità.* La legge di massa; isolamento dai rumori aerei provenienti dai locali adiacenti; isolamento dai rumori aerei prodotti nel locale stesso; isolamento dai rumori impattivi; il rumore negli impianti tecnici; controllo della rumorosità nell'ambiente di lavoro. *Vibrazioni meccaniche.* Fisica elementare delle vibrazioni; valutazione fisica delle vibrazioni; risonanza del sistema; controllo delle vibrazioni; effetti delle vibrazioni sull'uomo e sulle costruzioni. *Tecniche di misura.* Generalità; livello sonoro e di vibrazione; frequenza e sensazione; tempo di riverberazione e coefficiente di assorbimento; isolamento acustico, potenza emessa da una sorgente sonora.

b) ILLUMINOTECNICA — *Fonometria.* Caratteristiche fondamentali del fenomeno luminoso; grandezze e unità fotometriche; principali leggi della fotometria. *Il fenomeno della visione.* Considerazioni generali sul problema visivo; l'occhio umano e le sue prestazioni visive; la qualità dell'illuminazione e la sua influenza sulla buona visione; abbagliamento e comfort visivo. *Sorgenti luminose.* Caratteristiche fondamentali delle sorgenti luminose; rendimento di una sorgente luminosa; lampade ad incandescenza, a scarica nei gas, e fluorescenti. *Apparecchi illuminanti.* Solido fotometrico e sua rappresentazione; riflettori e proiettori; rendimento degli apparecchi illuminanti; apparecchi illuminanti per interni e per esterni. Il colore ed il diagramma tricometrico. *Illuminazione naturale ed artificiale degli interni.* Impostazione del problema e criteri di progetto; l'illuminazione dei locali industriali, commerciali, di abitazione; l'illuminazione degli uffici e delle scuole; l'illumi-

nazione negli ospedali; l'illuminazione di impianti sportivi; relativi impianti di illuminazione.
Illuminazione esterna. Impostazione del problema e criteri di progetto; illuminazione stradale; illuminazione di impianti sportivi, di monumenti e facciate di edifici; relativi impianti di illuminazione. *Tecniche di misura.* Metodi e misure fotometriche; misura del flusso luminoso; misura dell'illuminazione; fotometri; luxometri; misuratori di luminanza.

Testi consigliati:

A. GIULIANINI, A. COCCHI, *Elementi di Acustica tecnica*, Petroni, Bologna.
L. BERANEK, *Noise and Vibration Control*, McGraw-Hill, New York.
G. PAROLINI, M. PARIBENI, *Tecnica dell'illuminazione*, UTET, Torino.

Esami orali.
Le *Tesi di laurea* potranno sviluppare indagini teorico-sperimentali nel campo dell'Acustica e dell'Illuminotecnica nell'edilizia e nel campo del controllo del rumore negli ambienti industriali.

5565
ANALISI STRUTTURALE CON L'ELABORATORE ELETTRONICO
Docente: **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 risolvente. 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: **Ivo Tagliaventi** prof. ord. (inc.)

Il Corso si propone di trattare i processi globali di progettazione sia sul piano teorico, tramite le lezioni, sia sul piano applicativo, tramite esercitazioni consistenti in esperienze progettuali complesse.

In tale prospettiva è essenziale che lo studente prenda contatto con i problemi concreti ed attuali che la collettività esprime in termini di domanda sociale e si sensibilizzi ai processi di progetto partecipato, ritrovando la dimensione sociale del progetto stesso nell'applicazione delle proprie conoscenze tecniche e scientifiche e nell'espletamento delle competenze specifiche della figura professionale verso la quale si orienta.

Programma

1. *Individuazione di linee di struttura configurate nel tessuto urbano e territoriale*
— Definizione e censimento delle risorse spaziali che la città esprime:. il P.R.G.
— L'organizzazione delle risorse nello spazio civico: integrazione residenza-servizi.
— Gli standards abitativi e urbanistici.
— Il Piano Particolareggiato come raccordo della scala urbanistica al progetto architettonico: piani per i centri storici, comparti edilizi, riorganizzazione delle periferie.

2. *Il progetto partecipato: utenza e progetto*
— La committenza del progetto partecipato.
— Il quadro politico-amministrativo nel quale è attuabile la partecipazione popolare al progetto.
— Il decentramento democratico.
— Metodologie di progetto partecipato.

3. *Metodologie di progettazione*
3.1. *Processi progettuali come modelli di generazione della forma*
Ciclo di lezioni nelle quali si illustrano, con criterio monografico, alcuni esempi di processi progettuali completi, finalizzati alla realizzazione di organismi edilizi complessi, chiamando anche progettisti di edifici di particolare interesse ad esporre i propri obiettivi.
3.2. *L'intervento nella preesistenza*
a. Normativa per il recupero di preesistenze edilizie.
b. Normativa per il recupero e il restauro degli edifici emergenti.
c. Normativa per il recupero di oggetti a scala territoriale.
3.3. *Metodi sistematici di progettazione*
a. Processi basati sulla formulazione di requisiti:
— formulazione linguistica delle prestazioni richieste, brainstorming,
— matrici di interazione tra requisiti,
— ricomposizione del problema: cenni sulla teoria dei grafi.
b. Processi basati su specificazione di prestazioni.
c. Progettazione assistita con l'uso del calcolatore (C.A.D.).

Testi consigliati:

L. LUGLI (a cura di), *Progetto e partecipazione democratica*, Ed. Patron, Bologna, 1976, e la bibliografia ivi contenuta.

Nelle *esercitazioni* del corso lo studente dovrà compiere una esperienza completa di progettazione, partendo da una prima fase di analisi, nella quale entrare in possesso delle informazioni necessarie a trattare correttamente il tema, per procedere alla formulazione di proposte progettuali di intervento.

L'*esame* consiste in un colloquio nel quale lo studente risponderà a domande sul lavoro di esercitazione e sui testi che avrà consultato per elaborare il proprio progetto.

Inoltre, lo studente risponderà a domande sugli argomenti delle lezioni: dispensa del corso è il volume «Progetto e partecipazione democratica».

Tesi di Laurea:

Gli argomenti che si propongono per le tesi di laurea sono quelli trattati nelle esercitazioni del Corso. Si prevede il coordinamento con docenti di altri Corsi della Facoltà, quali Scienza delle costruzioni, Tecnica delle costruzioni, Fisica tecnica e Impianti tecnici civili, nonché dei corsi di Idraulica, Costruzioni idrauliche e Trasporti per argomenti specifici. Inoltre si prevede di avvalersi della collaborazione di docenti di altre Facoltà per gli aspetti economici e sociologici.

3870

ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA II

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

Programma

1) *La progettazione globale dell'organismo architettonico.*

La prima parte del corso svolge una necessaria premessa per riprendere il quadro progettuale entro cui l'operatore laureato è chiamato ad agire, in rapporto alla rinnovata complessità dei contenuti progettuali che, accanto ai tradizionali aspetti funzionali e formali, hanno visto l'insorgere di nuovi aspetti ambientali, culturali e tecnologici.

2) *La progettazione architettonica assistita, i supporti operativi e le tecnologie progettuali.*

La seconda parte del corso tratta esplicitamente e con sistematicità i metodi, le tecniche e i supporti progettuali. L'obiettivo è di giungere ad un'effettiva operabilità delle sintesi progettuali per ricomporre gli aspetti analitici, di calcolo, verifica e quantitativi con gli aspetti procedurali, simulativi e qualitativi e quelli scientifici con quelli umanistici.

Questa parte si fonda sulla consapevolezza che la progettazione debba inserirsi pienamente nell'epoca dell'informazione e delle tecnologie appropriate per una architettura ambientale rispondente ai diversi contesti e culture.

3) *Le funzioni progettuali.*

Nella terza parte del corso gli aspetti d'uso e di forma tradizionale vengono reinterpretati e ricollocati alla luce del riconoscimento di «funzioni progettuali» che l'approccio sistemico individua, oltre i consueti confini tra preesistenza e nuova edificazione, tra interno/esterno e requisiti/prestazioni.

Viene assunto un sistema di criteri ordinatori ed operativi che superano i tradizionali livelli di scala e le usuali distinzioni tipologiche, perché si rifanno essenzialmente alle interconnessioni tra fattori processuali interni (variabili interiorizzate) e fattori processuali esterni al ciclo architettonico canonico (variabili esteriorizzate), tra leggi organizzative e parametri di identificazione, tra azioni e condizioni attuative, tra proposte e verifiche di impatto ambientale, tra stati di equilibrio morfologico e stati di transizione ambientali.

4) *Esempi di esperienze architettoniche integrate.*

La quarta parte del corso esemplifica didatticamente una serie rappresentativa di casi di progettazione applicata, in cui si dà risalto alle sequenzialità degli atti e agli aspetti interpretativi e di sintesi.
Esempi di progettazione di organismi architettonici;
esempi di progettazione di oggetti e allestimenti urbani;
esempi di progettazione di comparti integrati.

Il corso è integrato da *esercitazioni* pratiche individuali, coordinate con quelle dell'omonimo corso del IV anno. Esse sono fondate su esperienze di sintesi progettuale, a partire da situazioni già istruite analiticamente, per organismi e comparti complessi a scala esecutiva, con possibili verifiche di laboratorio.

All'esame del corso si accederà solo dopo aver completato il tema di esercitazione, durante l'anno o in «stages» settimanali programmati all'inizio dell'anno accademico.

L'*esame* consisterà in una prova scritta e orale.

E' prevista la pubblicazione di un volume (dal titolo provvisorio «La progettazione ambientale: cultura, informazione, risorse e tecnologia») che costituirà il testo di riferimento.

85
CARATTERI DISTRIBUTIVI DEGLI EDIFICI
Docente: **Luisella Gelsomino** ricerc. (inc.)

Programma

La materia del corso si divide nelle seguenti parti: 1) Serie storica di cicli di attività. I campi dell'attività umana e il tracciamento degli schemi di articolazione. Evoluzione e trasformazione di attività. Rilevazione e analisi. Metodi di progettazione sistematica. Fasi progettuali. Processo metodologico delle entità funzionali (localizzazione, dimensione e struttura) come componenti essenziali dello spazio e dei percorsi dell'architettura. Corre-

lazione fra funzioni e altre componenti progettive, tecniche e compositive che concorrono alla progettazione edilizia. Analisi storica. Lettura di organismi moderni con attività specializzate o pluriuso. Lettura attualizzata di edifici antichi. 2) Tecniche di progettazione. Verifica della utilità degli standards edilizi ed urbanistici in confronto di sistemi interagenti di attività. Nuovo ruolo della tipologia. La normativa. Problemi di quantificazione. Architettura tecnica come costante recupero della progettazione al processo industriale. 3) Progetto partecipato e implicazioni metodologiche. Evoluzione del processo progettuale ed evoluzione sociale. La visione sinottica della città. Partecipazione associativa e integrazione culturale. Advocacy planning. Attivazione culturale e tessuto urbano. Casa e comportamenti. Campi di variabilità. Socializzazione e «gruppi generazionali» nella nuova immagine della città. Stati esigenziali primari. Concetto di socializzazione urbana e tipo di organizzazione urbana.

Esercitazione di ricerca singola o di gruppo (con articolazione per singoli componenti). Il corso, oltre a coordinarsi con i corsi di Composizione architettonica e di Tecnica urbanistica, si concretizza in una ricerca attiva volta ad aggredire alcuni tra i problemi di cui allo schema programmatico, avvalendosi del corredo di una ragionata ricerca bibliografica. La ricerca, espressa monograficamente, dovrebbe concludersi in una dichiarazione di principio del processo seguito, giustificativo del campo di scelta.

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

5797
COMPLEMENTI DI COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI
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, Ieuffroy 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.*

2816
COMPLEMENTI DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI
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.
Duttilità strutturale.

PARTE SECONDA — STABILITÀ DELL'EQUILIBRIO

La meccanica classica. Il funzionale dell'energia nei sistemi rigidi.
Il funzionale dell'energia nei sistemi deformabili. I sistemi discreti. I sistemi continui. La trave. Instabilità di 1ª e 2ª specie.
Spostamenti e deformazione del 2° ordine.
Il calcolo delle variazioni.
Travi di sezione sottile aperta. Formulazione linearizzata del problema di stabilità. Profilati soggetti a compressione semplice, a compressione eccentrica, a flessione pura. Metodi di discretizzazione.

PARTE TERZA — ANALISI MATRICIALE

Generalità. Le strutture reticolari piane. Le reticolari spaziali. I talai piani. I talai spaziali. Applicazioni.

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.
RAITHEL A., *L'equilibrio elastico*, Napoli, Liguori.
PIGNATARO M., RIZZI N., LUONGO A., *Stabilità, biforcazione e comportamento psotcritico delle strutture*, Roma, ESA.
CANNAROZZI A.A., *Appunti dalle lezioni del corso di «Analisi Strutt. con l'elab. elettronico»*, Univ. di Bologna.

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 *ricondurre 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).

4053
COSTRUZIONI METALLICHE
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 controvernamento.

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, *Impalcati a piastra ortotropa ed in sistema misto acciaio-calcestruzzo*, Collana Tecnico-Scient. ITALSIDER, Vol. V, ed. CISIA, Milano.
P. POZZATI, *Teoria e tecnica delle strutture*, Vol. II, ed. UTET, Torino.
V. ZIGNOLI, *Costruzioni metalliche*, Vol. I e II, ed. UTET, Torino.

5690
COSTRUZIONI PER L'INDUSTRIA
Docente: **Claudio Comani** prof. ass.

Finalità del corso è quella di stabilire, tramite il ruolo degli ingegneri industriali, le relazioni intercorrenti tra organizzazione della produzione, disposizione spaziale degli impianti e realizzazione dell'ambiente fisico e di fornire quindi le informazioni utili per una progettazione integrale applicata all'industria (a scala di insediamento, sistema, componente edilizio).

Lo studio quindi si articola nelle seguenti fasi:

— *Fase metodologica* di analisi funzionale dell'impianto industriale, basata *sullo studio sistematico del layout*;

— *Fase di progettazione ambientale* del sistema edilizio industriale; individuazione di ambiti spaziali sulla base delle diverse esigenze funzionali e fisico-ambientali;

— *Fase di progettazione tecnologica* del sistema edilizio industriale; studio degli elementi del sistema tecnico (costruttivo, impiantistico) e dei componenti, mediante definizione di un insieme di prestazioni;

— *Studio delle tipologie edilizie industriali* in rapporto alla scelta dei diversi materiali e dei procedimenti costruttivi;

— Criteri di applicazione dei processi industriali all'edilizia: problemi di industrializzazione e prefabbricazione dei componenti edilizi.

Testi consigliati:

I. TAGLIAVENTI, *Caratteri delle costruzioni industriali*, 1962.
P. CARBONARA, *Architettura pratica*, vol. IV: Gli edifici per l'industria, a cura di F.M. ROGGERO, 1967.
R. MUTHER, *Manuale del layout*, 1967.
V. ZIGNOLI, *Tecnica ed economia della produzione*, 1972.
G. CIRIBINI, *Architettura e industria*, 1958.
V. ZIGNOLI, *Costruzioni metalliche*, 1968.
T. KONCZ, *La prefabbricazione residenziale e industriale*, 1966.

Le *esercitazioni* (volontarie) consistono nel lavoro individuale o di gruppo su alcuni temi di progettazione industriale assegnati agli studenti.

L'*esame* può comportare o una verifica della preparazione degli studenti sulla base degli argomenti svolti nelle lezioni teoriche o una discussione del lavoro di esercitazione integrata da domande sugli argomenti del programma.

6200
DINAMICA DELLE STRUTTURE
Docente: **Pier Luigi Sacchi**, prof. ass.

Programma

1) *La propagazione delle onde nei mezzi elastici*
Le equazioni fondamentali della elastodinamica. Onde elastiche piane: onde longitudinali e onde trasversali. Onde superficiali di Rayleigh.

2) *Fondamenti energetici della dinamica dei sistemi*
Richiami di meccanica analitica: le equazioni di Lagrange. Il teorema delle forze vive

per i sistemi discreti e continui. Il Principio di Hamilton per i sistemi discreti e continui. Formulazioni variazionali alternative. Le equazioni di Hamilton.

3) *Dinamica dei sistemi discreti ad un grado di libertà*

L'oscillatore elementare. Oscillazioni libere e oscillazioni forzate. Oscillazioni libere e oscillazioni forzate con smorzamento. Oscillazioni in presenza di uno spostamento impresso. Smorzamento non lineare. Smorzamento per isteresi. Smorzamento per attrito. Sviluppo in serie di Fourier di una forza periodica: l'oscillatore come «filtro». Risposta ad un impulso. Integrale di Duhamel. Risposta di un oscillatore. Spettro di risposta. Oscillatore non lineare. Cenni ai metodi di integrazione numerica. Oscillatore elasto-plastico. Cenni al problema delle fondazioni delle macchine vibranti.

4) *Dinamica dei sistemi discreti a più gradi di libertà*

Equazioni del moto dei sistemi elastici lineari discreti. Oscillazioni libere. Analisi modale. Oscillazioni forzate. Oscillazioni causate da forze armoniche. Influenza dello smorzamento. Oscillazioni in presenza di spostamenti impressi. Procedimenti numerici per il calcolo degli autovalori. Il metodo di Stodola-Vianello e il metodo di Jacobi. Valutazione approssimata del primo autovalore. Rapporto di Rayleigh. Teoremi di Rayleigh.

5) *Dinamica dei sistemi continui*

Oscillazioni libere. Oscillazioni in presenza di spostamenti impressi.

6) *Dinamica delle travi*

Oscillazioni flessionali libere della trave. Casi notevoli: mensola e trave appoggiata. Effetto dell'inerzia rotatoria: equazioni di Rayleigh. Effetto delle deformazioni taglianti: teoria della trave di Timoshenko. Mensola con massa concentrata all'estremità. Mensola a deformabilità tagliante. Trave di sezione variabile. Rapporto di Rayleigh. Metodo di Rayleigh-Ritz. Influenza dello sforzo assiale. Oscillazioni forzate. Oscillazioni in presenza di spostamenti impressi.

7) *Dinamica dei telai piani*

Oscillazioni libere delle travi continue. Oscillazioni libere dei telai piani a nodi fissi: il metodo iterativo per il calcolo delle frequenze di vibrazione. Oscillazioni libere dei telai a nodi spostabili: il metodo iterativo (di rilassamento) per il calcolo delle frequenze di vibrazione. I modelli discreti per i telai piani a nodi spostabili; ipotesi dei traversi rigidi e ipotesi delle masse concentrate nei nodi.

8) *Azioni sismiche sulle strutture*

I terremoti. Spettro di Fourier di un terremoto. Spettro di risposta di un terremoto. Cenni sulla alterazione dello spettro di risposta per effetto della geologia locale. Cenni sugli effetti della interazione suolo-struttura.

9) *Applicazioni alla dinamica sismica dei telai piani*

Il metodo approssimato per sovrapposizione dei modi nella dinamica sismica dei telai piani. La verifica dinamica al sisma di un telaio «shear-type» secondo la normativa italiana. Confronti con il metodo delle forze statiche equivalenti.

10) *Applicazioni alla dinamica sismica dei telai spaziali*

I telai spaziali a solette rigide. Il metodo approssimato per sovrapposizione dei modi nella dinamica sismica dei telai spaziali. Il problema della ripartizione delle azioni sismiche orizzontali tra le pareti di controvento. Baricentro elastico di un impalcato.

4001
ELEMENTI DI ARCHITETTURA TECNICA
Docente: **Giampiero Cuppini** prof. ass. (inc.)

(Il Programma del corso è disponibile presso l'Istituto di Architettura e Urbanistica).

522
IMPIANTI TECNICI CIVILI
Docente: **Eros Tartarini** prof. ass.

Programma

1) Impianti di riscaldamento e condizionamento dell'aria. Definizione delle grandezze interessanti il condizionamento dell'aria. Condizionamento dell'aria civile e industriale. Carta delle temperature effettive, carta del benessere, fattori strutturali e fisiologici che influenzano direttamente il benessere. Trasmissione del calore in regime stazionario e non stazionario; grandezze che influenzano lo smorzamento e lo sfasamento in una parte piana. L'irraggiamento solare. Temperatura equivalente e temperatura equivalente fittizia. Effetti delle strutture sul ritardo. Regime termico stabilizzato, pareti tipo. Irraggiamento solare sulle superfici vetrate: schermi esterni. Classificazione degli impianti di riscaldamento e degli impianti di condizionamento. Impianti a tutta aria, aria-acqua, tutt'acqua e autonomi. Tubazioni e canalizzazioni con loro dimensionamento. Centrali termiche e centrali frigorifere. Approvvigionamento idrico e torri di farredamento. Norme relative agli impianti; A.N.C.C. e VV.FF. - Cenni di acustica ed isolamento relativo agli impianti.

2) Impianti idrici. Approvvigionamento d'acqua. Rete di distribuzione nell'interno dei fabbricati. Sistemi di sopraelevazione nella pressione d'acqua. Pompe centrifughe e loro installazione. Autoclave: equazione fondamentale e determinazione del volume utile. Tempi di scatto. Reti antincendio. Materiali delle reti di distribuzione. Calcolo delle portate. Coefficiente di contemporaneità e calcolo delle tubazioni. Produzione diretta e indiretta di acqua calda. Distribuzione di acqua calda e calcolo degli impianti di distribuzione e di produzione di acqua calda.

3) Impianti di distribuzione del gas. Reti e materiali impiegati. Contatori. Calcolo delle tubazioni.

4) Impianti sanitari. Reti di scarico acque nere e gialle. Diramazioni, reti, collettori. Calcolo delle tubazioni per: solo acque sanitarie, acque piovane. Impianti di sollevamento delle acque di rifiuto. Chiarificazione, depurazione e disinfezione delle acque. Calcolo delle reti di ventilazione.

5) Impianti di sollevamento: ascensori e montacarichi. Cabina e contrappeso. Apparecchi a paracadute. Le guide. Gli organi di sospensione. Apparato motore e apparecchiature elettriche di comando e di controllo. Calcolo della superficie utile dell'ascensore. Calcolo di tempo di corsa di un ascensore. Dimensionamento del vano corsa. Legislazione relativa a detti impianti.

6) Compressione aria e gas. Leggi relative alla compressione ed espansione dell'aria e altri gas: legge generale dei gas; processo isotermico; processo adiabatico; processo politropico; fattori di comprimibilità e flusso gassoso.
Compressori per aria e gas: compressione a più stadi; rassegna dei vari tipi di compressori; compressori a pistoni: compressori rotativi; spostamento volumetrico e rendimento volumetrico; consumo specifico di energia.
Descrizione di vari tipi di compressori stazionari e compressori mobili.

Testi consigliati:

STRADELLI, *Condizionamento dell'aria.*
A. IZAR, *Termotecnica.*
C. PIZZETTI, *Condizionamento dell'aria e refrigerazione.*

Propedeuticità consigliate
Fisica Tecnica, Meccanica applicata alle macchine e macchine, Idraulica.

Tesi di laurea
Gli argomenti che si propongono per le tesi di laurea sono:
Impianti di condizionamento di fabbricati adibiti a usi civili diversi, centri sociali, industrie. Impianti di riscaldamento centralizzati. Possono essere anche coordinati con gli Istituti di Architettura e Urbanistica, Costruzione di Strade, Ferrovie e Aeroporti.

9043
INGEGNERIA DEL TERRITORIO
Docente: **Raffaello Lugli** prof. ass.

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'obbiettivo 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 congestione 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 aereoporti.
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.

3751
INGEGNERIA SANITARIA
Docente: **Gianni Luigi Bragadin** prof. ord. (inc.)

Programma

1. *Generalità*. L'igiene e la tecnica - L'ingegneria ambientale: l'aria, l'acqua, il suolo.

2. *Le acque di approvvigionamento.* Il ciclo dell'acqua. Acque meteoriche. Acque superficiali dolci e saline. Acque di falda e profonde - Caratteristiche delle acque naturali. Acque aggressive. Acque incrostanti. Acque torbide. Acque con composizione chimica particolare - Requisiti delle acque di approvvigionamento. Acque per uso potabile. Acque per usi industriali. Acque per usi agricoli.

3. *Inquinamento dei corpi idrici.* Caratteristiche delle acque di rifiuto. Acque di rifiuto di origine domestica. Acque di rifiuto di origine industriale. Acque di rifiuto di origine agricola - Fenomeni di inquinamento dei recipienti idrici. Caratteristiche dei vari recipienti idrici nei riguardi dei fenomeni di inquinamento: corsi d'acqua superficiali; bacini a debole ricambio; acque di falda; mare. Inquinamento da sostanze organiche. Il ciclo della sostanza organica. La richiesta biochimica di ossigeno. Il bilancio dell'ossigeno. Autodepurazione. Inquinamento da sostanze organiche. Fenomeni di tossicità. Fenomeni di accumulo. Inquinamento batterico. Inquinamento termico - Limiti di ammissibilità - Legislazione per la protezione delle acque contro l'inquinamento.

4. *Inquinamento atmosferico - Trattamenti e smaltimento degli scarichi gassosi.* Definizione del problema - Cause ed effetti - Fonti di inquinamento: riscaldamento domestico - Fonti di inquinamento: traffico motorizzato - Fonti di inquinamento: industrie - Effetti sull'uomo - Effetti sulla vegetazione - Effetti sui materiali - Strumentazione e campionamento - Campionamento e metodi di analisi di composti particolati - Automazione e telecontrollo dei rilevamenti - Campionamento di fumi a gas - Aspetti meteorologici - Lineamenti di meteorologia e climatologia - Dispersione dell'atmosfera - Correlazione tra condizioni meteorologiche ed inquinamento atmosferico - Chimica dell'atmosfera - Reazioni fotochimiche - Reazioni primarie e secondarie nell'atmosfera - Mezzi tecnologici di intervento - Interventi nel settore del riscaldamento domestico - Interventi nel settore del traffico motorizzato - Interventi nel settore industriale. Depurazione dei gas. Depurazione di materiali particolati. Depurazione degli odori. Dispersione attraverso camini - Legislazione - Legge 13 luglio 1966, n. 615 - Regolamenti di applicazione.

5. *Trattamenti e smaltimento dei rifiuti solidi.* Impostazione del problema - Conferimento - Raccolta - Allontanamento - Sistemi di conferimento; rapporto comparativo - Raccolta con sacchi a perdere - Automezzi di raccolta - Automezzi per l'allontanamento a breve ed a lunga distanza - Spazzamento stradale - Costi dei servizi di nettezza urbana - Caratteristiche - Evoluzione delle quantità - Evoluzione delle caratteristiche qualitative - Smaltimento - Lo scarico controllato. Criteri di scelta e progetto. Tecniche di impianto. Modalità di conduzione. Problemi di gestione e di manutenzione. Depurazione dei gas e fumi di scarico. Modalità di collaudo. Costi di costruzione e di esercizio. Capitolati di appalto - Trattamenti di recupero. Configurazione degli impianti a recupero. Impianti misti. Recupero di materiali riutilizzabili. Trasformazione in compost. Utilizzazione agricola del compost. Costi di costruzione e di gestione - Problemi speciali - Contenitori a perdere - Rifiuti solidi industriali - Fanghi degli impianti di depurazione delle acque di rifiuto - Possibilità e limiti della applicazione dei tritarifiuti da cucina - Centralizzazione - Organizzazione comprensoriale dei servizi di nettezza urbana - Normativa - Legislazione attuale. Lineamenti per una nuova legislazione.

Il Corso prevede una serie di *esercitazioni*, visite tecniche, conferenze, seminari, sugli argomenti del programma di insegnamento. Sono previste esercitazioni specifiche per gli allievi dell'indirizzo di laurea in Ingegneria Sanitaria (sezione civile; sottosezione idraulica).

Testi consigliati:

Dispense; per gli argomenti per i quali le dispense non saranno disponibili, e per l'approfondimento di argomenti particolari, sarà fornita una lista di segnalazioni bibliografiche.

4136
INGEGNERIA SISMICA (semestrale)
Docente: **Pier Paolo Diotallevi** prof. ass.

Finalità del corso: mettere gli allievi in grado di redigere il progetto di strutture in zone sismiche.
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. Sismicità di un sito, zonazione e microzonazione. Catalogo dei terremoti.

Richiami di dinamica delle strutture: Oscillatore semplice: vibrazioni libere e forzate con e senza smorzamento. Risposta dell'oscillatore semplice ad un terremoto, spettro di risposta. Sistemi strutturali a masse concentrate: oscillazioni libere, oscillazioni forzate, risposta ad accelerazioni impresse ai vincoli. Sistemi strutturali a masse distribuite: oscillazioni libere e forzate. Richiami sulle tecniche numeriche di calcolo.

Dinamica sismica delle strutture con comportamento elastico. Coordinate principali, disaccoppiamento delle equazioni del moto, analisi modale, tecniche numeriche. Coefficienti di partecipazione. Criteri per la determinazione degli stati di sollecitazione e di deformazione. Metodi di integrazione passo-passo.

Analisi sismica con criteri statici delle strutture. Criteri informatori e prescrizioni delle Norme (Analisi modale semplificata). Sistemi strutturali piani semplici e composti. Sistemi strutturali spaziali. Formulazioni al discreto e al continuo. Sistemi equivalenti.

Risposta sismica di sistemi a 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 molti gradi di libertà: cenni ai procedimenti generali di calcolo. Programmi di calcolo. Metodi semplificati. Normative europee.

Interazione terreno struttura: criteri generali. Problemi connessi alle fondazioni superficiali e profonde. Le condizioni per la 'liquefazione' dei terreni. Azioni sismiche contro le pareti di contenimento dei terreni.

Criteri di progetto delle strutture: strutture di c.a., a pannelli, metalliche, di muratura e miste.

Ripristino e adeguamento sismico delle strutture: criteri di adeguamento sismico per le più ricorrenti tipologie strutturali. Tecniche di riparazione dei danni provocati dal sisma.

Propedeuticità consigliate: Dinamica delle strutture.

L'*esame* consiste in una prova orale.

Tesi di laurea: Progetti di strutture in zone sismiche. Coordinamento con tutti gli Istituti interessati a problemi strutturali in zona sismica.

6463

ISTITUZIONI DI DIRITTO PUBBLICO E PRIVATO (semestrale)

Docente: **Mauro Bernardini** prof. ass.

Programma

— Nozioni e distinzioni del diritto. Le fonti del diritto. Il soggetto del diritto. Persone fisiche e persone giuridiche.

— L'oggetto del diritto. I beni, fatto, atto e negozio giuridico. Tutela giurisdizionale del diritto.

— Diritti reali. Possesso. Proprietà. Specie di proprietà. Limitazioni. Modi d'acquisto e tutela della proprietà. Diritti reali limitati; in specie servitù prediali.

— Condominio degli edifici.

— Diritti di obbligazione: concetti generali. Contratti nominati: vendita, locazione, appalto, mandato, mutuo, assicurazione. Titolo di credito. Trascrizione e tutela dei diritti.

— Imprenditore commerciale e impresa. Azienda e diritti su beni immateriali. Società commerciali.

— Elementi di diritto pubblico: a) organi costituzionali dello Stato; b) ordinamento amministrativo; c) atto amministrativo e tutela del privato contro gli atti illegittimi della pubblica amministrazione.

— Legislazione edilizia e urbanistica.

— Espropriazione per pubblica utilità.

— Cenni di diritto del lavoro e sull'ordinamento delle professioni.

Testi consigliati, oltre gli appunti di lezione:

1) M. BERNARDINI, *Contenuto della proprietà edilizia - Pospettive e problemi*, Bologna, CLUEB 1982.
2) F. GALGANO, *Elementi di diritto*, Zanichelli, Bologna 1982.
3) CODICE CIVILE a cura di Nicolò e Maio, Ed. Giuffrè 1981 e ss. (con costituzione premessa e, in appendice, L. 1150/1942, L. 10/1977, L. 392/1978).

5568
PROCESSI INDUSTRIALI APPLICATI ALL'EDILIZIA
Docente: **Fabio Selva** prof. ass.

Finalità

Il corso si propone di analizzare le problematiche connesse con la razionalizzazione delle diverse fasi del processo edilizio e con l'applicazione dei criteri e dei metodi, che sono alla base dei processi industriali, nella progettazione ed esecuzione del sistema edilizio. I temi trattati riguardano quindi i rapporti intercorrenti fra ideazione, produzione e tecnologia, con riferimento ad una normativa qualitativa, che interviene nelle diverse componenti di trasformazione dell'ambiente.

Programma

Struttura del processo edilizio; razionalizzazione delle fasi del processo edilizio nel contesto ambientale. Gli operatori del processo edilizio; relazioni tra fasi ed operatori.

L'edilizia e il grande numero. Il processo industriale: teorie generali e definizioni di base. L'edilizia come industria: aspetti e limiti dell'industrializzazione.

Metodologia della progettazione globale: indirizzi di base, elementi progettuali, sistematica dell'azione progettuale.

Industrializzazione e prefabbricazione. Prototipi, modelli, disegni di fabbricazione, disegni d'uso.

La progettazione del sistema edilizio e degli elementi componenti. Studio, a livello di analisi della fattibilità (economica, tecnologica e funzionale) del sistema edilizio, in rapporto alle prestazioni dell'ambiente conseguibile e alle diverse componenti dell'architettura.

Rapporti fra tipologia edilizia e procedimento costruttivo. Criteri per la progettazione del sistema edilizio industrializzato: a livello spaziale (flessibilità d'uso e di aggregazione), a livello tecnologico (coordinazione dimensionale, standardizzazione delle connessioni, tolleranze).

Criteri di scelta dei materiali e del tipo costruttivo. Il piano di costruzione.

Problemi produttivi e gestionali dell'industria edilizia. Programmazione e pianificazione della produzione. Fattori di produzione. Schemi produttivi. L'organizzazione e la gestione della produzione, ciclo operativo, coordinamento funzionale. Organizzazione dello stabilimento: reparti, impianti, attrezzature, materiali, servizi. Organizzazione del lavoro; studio dei tempi. La produzione nel cantiere di costruzione. La produzione in stabilimento. Controllo statistico e qualitativo.

Trasporti interni e immagazzinamento. Trasporti esterni sino al cantiere di costruzione.

I costi d'impianto, di produzione, di gestione.

Analisi ed esemplificazione di procedimenti costruttivi e di componenti industrializzati. Confronto critico di varie esperienze.

I supporti normativi nella progettazione degli elementi della costruzione; normativa di qualità; normativa dimensionale.

8078
PROGETTAZIONE URBANISTICA
Docente: **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 fisicismo.
   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.

8079
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'edilizia 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.

5569
PROGRAMMAZIONE DELLO SVILUPPO E DELL'ASSETTO DEL TERRITORIO
Docente: **Alberto Corlaita** prof. ord.

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.

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 rigidezza.

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 viscose (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.

5570
STORIA DELL'ARCHITETTURA E DELL'URBANISTICA
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. Committenza 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.

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.

1031
TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI
Docente: **Alessandro Orlandi** prof. ord.

(V. Corso di Laurea in Ingegneria Civile sez. Trasporti)

5572
TECNICA ED ORGANIZZAZIONE DEI CANTIERI
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.

5571
TECNICHE DI ANALISI TERRITORIALE
Docente: **Piero Secondini** prof. ass.

Finalità e collocazione del corso

Il corso si colloca in un ambito disciplinare statistico-matematico ed intende fornire elementi per la determinazione di un corretto campo di applicazione delle tecniche quantitative nella pianificazione territoriale, alle diverse scale.

In stretta integrazione con i corsi di Complementi di Tecnica urbanistica e di Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio, il corso si orienta, pertanto, alla definizione delle basi concettuali dell'analisi territoriale ed ai conseguenti sviluppi operativi

applicabili alla pianificazione del territorio.

Il territorio, nella sua accezione fisica oltre che sociale ed economica, viene individuato come una delle componenti del sistema ambientale. Le tecniche di lettura e gli schemi interpretativi delle sue trasformazioni vengono sviluppati con particolare attenzione alla definizione del quadro delle relazioni con il sistema ambiente.

Programma

1. *Introduzione.* Collocazione disciplinare e contenuti dell'analisi territoriale. I rapporti fra analisi e pianificazione territoriale. Problemi e metodi dell'analisi territoriale.

2. *Territorio e sistema ambientale.* Il concetto di ambiente e le componenti dell'ambiente. La domanda di informazione per la misura dello stato dell'ambiente e la sua conoscenza scientifica. Il ruolo del «monitoraggio» ambientale. Metodologie di monitoraggio ed approcci integrati. I sistemi informativi ambientali. Pianificazione e gestione delle risorse territoriali in rapporto alle prestazioni del sistema ambientale. Le metodologie di valutazione di impatto ambientale: rassegna critica e applicazioni allo studio di un caso. Metodi di costruzione della «contabilità ambientale» per lo sviluppo economico e la salvaguardia delle risorse naturali.

3. *La distribuzione delle risorse sul territorio.* Le fonti dell'informazione. Metodi e tecniche di osservazione e misura. Classificazione e regionalizzazione dell'informazione territoriale. Il concetto di «regione». Alcuni richiami di statistica. Le tecniche statistiche multivariate.

4. *Le risorse territoriali: la popolazione.* Tecniche di misura di crescita e distribuzione degli aggregati demografici. Modelli di previsione demografica e relative applicazioni per il dimensionamento degli strumenti di pianificazione. Processi di urbanizzazione e modelli di sviluppo urbano. La nuova economia urbana.

5. *Le risorse territoriali: le attività economiche.* Le basi teoriche della scienza dell'insediamento. L'economia spaziale: rassegna dei principali contributi in ordine all'organizzazione nel territorio delle attività agricole, commerciali e di servizio. Le applicazioni ai problemi di pianificazione territoriale. La teoria della localizzazione delle industrie e tecniche di misura del comportamento spaziale delle imprese. Le tendenze recenti: deindustrializzazione dei sistemi metropolitani ed industrializzazione diffusa. La formazione dei sistemi urbano-industriali a scala regionale in relazione alle politiche di intervento urbane e regionali. Le interdipendenze dell'apparato produttivo e l'evoluzione nella distribuzione territoriale delle attività economiche.

6. *L'interazione spaziale.* Excursus sulla «fisica sociale». Derivazione dei modelli di interazione spaziale. Le applicazioni dei modelli di interazione spaziale per la soluzione di alcune problematiche del trasporto. Analisi territoriale e formazione della domanda di trasporto.

Il corso è integrato da esercitazioni, discussioni di esperienze di analisi e pianificazione territoriale e da seminari. Sono a disposizione degli studenti per lo sviluppo delle esercitazioni e per le tesi di laurea le risorse di calcolo del Laboratorio di pianificazione territoriale dell'Istituto di Architettura ed Urbanistica.

Testi consigliati:

ISARD W., *Methods of Regional Analysis*, MIT press, Cambridge, 1976.
CLEMENTE F. (a cura di), *Pianificazione del territorio e sistema informativo*, Angeli, Milano, 1984.
SECONDINI P. (a cura di), *La conoscenza del territorio e dell'ambiente*, Dati & Fatti Ed., Milano, 1988.
LLOYD P.E., DICKEN P., *Spazio e localizzazione*, Angeli, Milano, 1984.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (SEZ. IDRAULICA) 2009

Programmi delle materie di insegnamento.

02
AERODINAMICA
Docente: **Giambattista Scarpi** prof. ord.

(v. Corso di laurea in Ingegneria meccanica).

6805
COMPLEMENTI DI IDROLOGIA (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: Idraulic, 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'insaturo.

4125
CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI
Docente: **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 durevolezza, 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 precompresse, verifica di stabilità, dimensionamento delle opere di difesa.

Testi consigliati

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

2015
CONTROLLI IDRAULICI E PNEUMATICI
Docente: **Antonello Rubatta** prof. ord. (inc.)

Programma

Apparati di controllo e loro classificazione in base allo scopo, alle modalità di intervento, ed ai mezzi impiegati. Requisiti dei fluidi intermediari. Gruppi di alimentazione: pompe, filtri, accumulatori. Sistemi di trasmissione: condotte e loro comportamento in regime permanente ed in regime vario. Valvole: strutture impiegate: tipi particolari per fluidi allo stato liquido e per fluidi allo stato gassoso. Motori rotativi e motori lineari. Caratteristiche esterne dei vari componenti e valutazione dei relativi parametri differenziali. Tecnica della controreazione. I sistemi di controllo di impiego più frequente. Dimensionamento di massima dei singoli organi componenti. Metodi per l'analisi del comportamento dinamico in campo lineare: oscillazioni libere, criteri di stabilità, risposta armonica. 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.

206
COSTRUZIONI IDRAULICHE
Docente: **Pietro Guerrini** prof. ord.

Programma

L'acqua potabile. L'acqua per l'industria, per irrigare. L'acqua per fini naturalistici e ricreativi. I laghi artificiali ed il paesaggio. L'inquinamento ed il risanamento delle acque. Le Leggi nazionali e regionali per la tutela del territorio.

Bonifiche idrauliche. Descrizione, storia, attualità. Le opere di bonifica nel quadro sociale e nell'ambiente. Parametri idraulico-colturali. Planimetrie ed altimetrie.

Fognature urbane: le acque bianche, nere, bionde. Sistemi di canalizzazione. Condotti per fognature nere e miste. Disegni ed organizzazione delle reti.

Progetto idraulico delle reti di scolo. Elaborazione dei dati pluviometrici: costruzione, significato, uso delle linee segnalatrici di possibilità climatica. I coefficienti di deflusso: le piogge virtuali. Calcolo delle portate con i metodi cinematico e del volume di invaso. Formule empiriche e semi empiriche. Le scale di deflusso: pratica di grafici e di tabelle. Manufatti correnti ed opere speciali: Canali, rivestimenti. Pozzetti, confluenze. Pozzetti di lavaggio: sfioratori, salti di fondo. Botti sifone. Posa e calcoli statici.

Le macchine idrauliche a governo dei sistemi idraulici. Centrali di sollevamento per le condotte premenți, lettura dei cataloghi. Impianti idrovori; impianti per acque di fogna. Disegno idraulico del macchinario: installazione, collaudo, esercizio. L'assetto statico ed estetico delle opere civili.

Qualità e trattamenti delle acque. L'acqua dal mare. Impianti di potabilizzazione e di depurazione. Schemi funzionali e disegno dei manufatti. L'inserimento urbanistico.

Procedimenti epurativi: i liquami domestici ed industriali: il recapito in corsi d'acqua naturali. Scarichi a mare. Legislazioni.

Condotte a gravità e prementi per acquedotti e per irrigazioni. Studio idraulico con particolare riguardo ai fatti di colpo di ariete. Scelta e progetto degli organi attenuatori. Opere di dissipazione ed organi di regolazione per le condotte a gravità.

Calcolo del colpo di ariete con il metodo delle caratteristiche di Evangelisti.

Acquedotti: Analisi statistiche, urbanistiche e sociali per le stime di previsione delle dotazioni, dei consumi, delle punte.

Approvvigionamento dell'acqua potabile: opere e manufatti di presa, adduzione, distribuzione. Reti. Manufatti speciali.

Serbatoi: schemi idraulici, postazioni, volumi di invaso. Posa e verifiche statiche delle condotte.

La politica ed il disegno dei grandi acquedotti consortili: l'alimentazione integrata da acque superficiali e di falda.

Irrigazioni. Dotazioni irrigue. Distribuzione dell'acqua sul terreno. Manufatti di partizione, misura, distribuzione.

Costruzioni Marittime e di navigazione interna. Il mare, i venti, le onde. Porti marittimi. Opere di difesa: moli, dighe ed antemurali. Manufatti ed arredo dei porti. Bacini da carenaggio. Vie d'acqua interne. Natanti: conche di navigazione; porti fluviali.

Esercitazioni: Progetti di massima e di particolari esecutivi. Seminari di Specialisti. Visite didattiche ad impianti in costruzione ed in esercizio.

Testi consigliati

Fogli e fascicoli di lezione (con bibliografie aggiornate).
Voci nei Manuali di Ingegneria.
DEGRÉMONT, *Mémento Technique de l'Eau*.
Cataloghi commerciali.
G. SUPINO, *Le reti Idrauliche*, Pàtron, Bologna.
G. EVANGELISTI, *Impianti Idroelettrici*, Pàtron, Bologna.
BABBITT-DOLAND, *Water Supply Engineering*, McGraw-Hill, New York.
G. DI RICCO, *L'irrigazione dei terreni*, Ed. Agricole, Bologna.
F. ARREDI, *Costruzioni Idrauliche*, UTET, Torino.
G. FERRO, *Costruzioni Marittime*, CEDAM, Padova.
G. FERRO, *Navigazione Interna*, CEDAM, Padova.

2014
COSTRUZIONI MARITTIME E FLUVIALI
Docente: **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.

4131

DIFESA E CONSERVAZIONE DEL SUOLO

Docente: **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. HYDROTECNIQUE DE FRANCE, X JOURNÉES DE L'HYDRAULIQUE, *La prévision des croues*, 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.

496
IDROLOGIA E IDROGRAFIA
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 ietogrammi 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.

5691
IMPIANTI 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 deviagetto 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.

690
MECCANICA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI
Docente: **Gian Luigi Chierici** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria)

2013
MISURE E MODELLI IDRAULICI
Docente: **Fausto Lazzari** prof. straord. (inc.)

Finalità del corso

Principalmente:
— istruire sugli strumenti e metodi di misura di grandezze che intervengono in fenomeni idraulici;
— istruire sui problemi e sulle basi teoriche per lo studio sperimentale su modello di fenomeni idraulici.

Programma

Sistemi di unità di misura. Loro evoluzione e caratteristiche. Il sistema SI. Convenzioni di scrittura. Valori delle costanti meccaniche dell'acqua e dell'aria. Schema di mezzo continuo.

Omogeneità dimensionale. Insiemi di grandezze dimensionalmente indipendenti. Teorema π e sue applicazioni.

Metodi di misura. Strumenti di misura. Strumenti registratori. Caratteristiche degli strumenti. Errori di misura. Misure ripetute. Norme UNI.

Strumenti e metodi di misura di grandezze di interesse idraulico: tempo, temperatura, lunghezza, area, volume, massa, massa volumica, velocità, portata, forza, pressione, viscosità, salinità, portata solida in sospensione e al fondo. Norme UNI.

Tecniche di acquisizione, elaborazione e trasmissione dati. Misure sistematiche di grandezze idrometeorologiche: loro organizzazione e interpretazione.

Modelli fisici. Similitudine meccanica: modelli simili. Modelli di deflusso in pressione e a pelo libero. Modelli affini. Ulteriori esempi di modelli fisici.

Modelli matematici. Creazione, utilizzazione, affidabilità. Esempi di modelli matematici.

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.

5567
PIANIFICAZIONE 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 Lagrande 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.

1019
TECNICA DEI SONDAGGI
Docente: **Giovanni Brighenti** prof. ord.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria)

5705
TECNICA DELLA PROGETTAZIONE IDRAULICA
Docente: **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 Lavoro 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. Valutazione degli aspetti economici di un progetto (costi diretti e indiretti, organizzazione temporale delle varie attività, tecniche reticolari di programmazione, livellamento delle risorse, cenni di matematica finanziaria, cash-flow di un progetto, etc.). Modalità di aggiudicazione di un appalto, consegna del cantiere ed inizio dei lavori. Composizione di controversie, collaudi, revisione prezzi, liquidazione dei lavori.

Dimensionamento di acquedotti secondo criteri economici. Condotte di adduzione in pressione. Richiami ai criteri tradizionali di dimensionamento. Impostazione del dimensionamento come ricerca di minimo vincolato. Soluzione del problema in termini di diametri continui, tramite il metodo dei moltiplicatori di Lagrange. Soluzione del problema in termini di diametri commerciali, tramite l'algoritmo della programmazione dinamica. Reti di distribuzione in pressione. Reti ad albero. Reti a maglie. Il problema di verifica. le equazioni che governano il sistema. Richiami a possibili procedure di linearizzazione (metodo di H. Cross, teoria lineare, Newton-Raphson). Richiami ad algoritmi per la soluzione del sistema linearizzato adatti alla struttura della matrice. Soluzione del problema in termini di diametri commerciali, tramite programmazione non lineare a valori misti (M.I.P.).

Dimensionamento di reti di fognatura. Richiamo ai metodi di dimensionamento tradizionali. Influenza delle ipotesi di autonomia e sincronia del moto. Rappresentazione del comportamento idraulico di una rete di fognatura in condizioni di moto vario. Le equazioni che governano il sistema. Le condizioni al contorno da imporre ai pozzetti. Richiami al metodo delle differenze finite e soluzione del sistema tramite tale algoritmo. Uso di procedure interattive di supporto alla progettazione tradizionale. Dimensionamento secondo criteri economici. Formulazione del problema come ricerca di minimo vincolato. Soluzione del problema tramite l'algoritmo della programmazione dinamica.

Studio dei moti di filtrazione in opere di ritenuta in materiale sciolto. Richiamo alle equazioni di Laplace e di Poisson. Esame di un caso monodimensionale stazionario (verifica a lago pieno). Esame di un caso bidimensionale non stazionario (verifica in condizioni di rapido svuotamento). Soluzione del caso monodimensionale non stazionario tramite differenze finite. Introduzione al calcolo variazionale: ricerca dell'estremo di un funzionale, equazioni di Eulero, condizioni al contorno di Dirichelet e di Newman, metodo di Ritz, metodo dei residui pesati, metodo di 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.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (SEZ. TRASPORTI) 2010

Programmi delle materie di insegnamento.

1956
COMPLEMENTI DI TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI
Docente: **Giancarlo Foresti** prof. ass.

Finalità del corso. Si indicano i criteri di scelta per la progettazione funzionale di 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 infrastrutture per i trasporti.

Programma

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. Cenni sulla regolazione della circolazione stradale e ferroviaria. Processo di ottimizzazione gestionale delle linee di una rete con i metodi della programmazione lineare.

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 di alcuni impianti tipici. Applicazioni di ricerca operativa nel dimensionamento di strutture di servizi negli impianti nodali (autostazioni, porti, interporti, parcheggi).

Parcheggi a raso e multipiano per autovetture. Studio degli accessi e delle uscite in relazione alla viabilità esterna. Organizzazione degli spazi e della circolazione interna in funzione del sistema di parcamento adottato. Parcheggi multipiano a rampe ed automatici meccanici nelle più diffuse soluzioni costruttive.

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 pedoni.

Sistemi intermodali mare-terra e terra-terra. Studio dei dispositivi di movimentazione intermedia in relazione alle loro prestazioni. Schemi funzionali di abbinamento secondo la

potenzialità richiesta e il tipo di impianto da servire.

Stazioni e scali ferroviari. Cenni sulle caratteristiche delle linee, le infrastrutture ferroviarie più diffuse, le normative in uso e loro evoluzione con l'avvento dell'alta velocità.

Analisi di alcune parti componenti l'impianto ferroviario.

Schemi progettuali di impianti su linee primarie e secondarie con dimensionamento degli spazi longitudinali e trasversali occorrenti.

Centri smistamento merci. Esame del tipo di movimento merci; altre attività complementari o supplementari da svolgere nell'ambito del centro merci; collegamento con la rete 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.

Esercitazioni: progetto di massima di un impianto di trasporto.

Propedeuticità: Tecnica ed economia dei trasporti.

Testi consigliati:

A. ORLANDI, *Principi di Ingegneria dei trasporti*, Ed. Patron, Bologna.
A. ORLANDI, *Tecnica della circolazione*, Ed. Pitagora, Bologna.
A. ORLANDI, *Elementi di teoria delle file d'attesa con applicazione ai trasporti*, Ed. Patron, Bologna.
M. MATASSA, *Caratteristiche funzionali degli autoveicoli da trasporto*, Ed. Patron, Bologna.
M. MATASSA, *Il progetto delle autostazioni*, Ed. Patron, Bologna.
L. MAYER, *Impianti ferroviari, Tecnica ed esercizio*, Ed. C.I.F.I., ROma.
G. VICUNA, *Organizzazione e Tecnica ferroviaria*, Ed. C.I.F.I., Roma.
AA.VV., *Parcheggi auto per la città*, Ed. OVER, Milano.

Esami orali: con eventuale discussione dei temi trattati durante le esercitazioni.

Tesi di laurea: studio di fattibilità e progettazione di massima di impianti di trasporto.

2011
TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE
Docente: **Giannino Praitoni** prof. ass.

Finalità del corso

Nella prima parte si illustrano la procedura e le tecniche indispensabili per la formulazione di un Piano dei Trasporti in un qualunque ambito territoriale.

Nella seconda parte vengono trattati i principali problemi riguardanti l'organizzazione della circolazione sulle varie reti di trasporto.

Programma

La pianificazione dei trasporti. Considerazioni preliminari sul processo di studio dei problemi di trasporto nel settore spaziale alle diverse scale territoriali.

Analisi dello stato attuale: studio dei fattori generatori di movimenti di persone e merci; determinazione dello stato di mobilità: tecniche e programmi di indagine per la conoscenza dei movimenti di persone e merci.

Formulazione di modelli e tecniche di simulazione per la previsione dello stato futuro di mobilità: modelli di generazione e distribuzione spaziale dei movimenti; modelli di assegnazione dei flussi ai sistemi.

Formulazione di programmi di interventi; analisi economica di fattibilità.

Valutazioni sull'impatto ambientale.

Teoria e tecnica della circolazione. Le caratteristiche di marcia nei diversi sistemi - Il deflusso stradale: modelli teorici e tecniche sperimentali. Il concetto di distanziamento in ferrovia; il problema dell'alta velocità. Caratteristiche di marcia negli altri sistemi.

Capacità dei sistemi di trasporto - Concetto generale di capacità degli elementi di una rete (rami, nodi). Capacità e livello di servizio delle strade. Potenzialità ferroviaria. Cenni sulla capacità degli altri sistemi.

L'organizzazione e la regolazione della circolazione - Rete stradale: sistemazione dei punti di conflitto. Rete ferroviaria: sistemi di dirigenza, impianti di segnalamento e controllo; cenni sulla regolazione automatica della circolazione. Cenni sulla organizzazione della circolazione aerea e marittima.

Elementi di statistica e di ricerca operativa

Il problema del trasporto nella programmazione lineare. Elementi di teoria delle file d'attesa con applicazione ai trasporti.

Esercitazioni riguardanti un esempio applicativo semplificato delle procedure di pianificazione e di organizzazione del traffico.

Testi consigliati:

A. ORLANDI, *Principi di Ingegneria dei Trasporti*, Ed. Pàtron, Bologna.
C. BUCHANAN, *Il traffico urbano*, Ed. Pàtron, Bologna.
A. ORLANDI, *Elementi di teoria delle file d'attesa con applicazione ai trasporti*, Ed. Pàtron, Bologna.
A. ORLANDI, *Tecnica della circolazione*, Ed. Pitagora, Bologna.

Propedeuticità: Tecnica ed economia dei trasporti.

Esami orali — E' richiesta al candidato la presentazione e la discussione della esercitazione scritta svolta in aula durante lo svolgimento del corso.

Indirizzo delle tesi. Pianificazione dei trasporti a livello urbano ed extraurbano; organizzazione e regolazione del traffico.

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, *La domanda di trasporto*, Ed. Pitagora, Bologna.
A. ORLANDI, *I veicoli cingolati*, Ed. Pàtron, 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 e progettazione di sistemi di trasporto e di loro particolari.

5751
TRAZIONE ELETTRICA E TERMICA
Docente: **Mario Matassa**, prof. ass. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria elettrica)

2016
TRAZIONE E PROPULSIONE
Docente: **Mario Matassa** prof. ass.

Finalità del corso. Il corso si propone di studiare, in un quadro generale, i vari sistemi di trasporto terrestre, navale ed aereo, dal punto di vista sia dell'energia utilizzata sia delle soluzioni tecnologiche adottate (stato dell'arte), partendo dall'analisi delle caratteristiche funzionali, operative e meccaniche dei sistemi.

Programma

Generalità. Introduzione generale ai sistemi di trasporto. Caratteristiche funzionali ed operative.

Definizione delle caratteristiche meccaniche dei diversi sistemi. Problemi generali di

propulsione, sostentamento, stabilità e manovrabilità. Studio mediante modelli e relative metodologie di calcolo.

Sistemi terrestri. Scelta del tipo di motore. Problemi di trasmissione e di utilizzazione della potenza.

Sistemi navali. Analisi delle resistenze. Caratteristiche dell'apparato propulsivo nei vari tipi di natanti. Problemi di regolazione.

Sistemi aerei. Cenni sulla dinamica del volo. Caratteristiche degli apparati propulsivi nel volo subsonico e supersonico.

Sistemi continui: a tubo, a nastro, a fune.

Sistemi non convenzionali: a cuscino d'aria e ad azione elettromagnetica.

Esercitazioni: problemi pratici di trazione e propulsione dei diversi sistemi.

Propedeuticità: Tecnica ed economia dei trasporti.

Esami: orali, con presentazione e discussione della esercitazione scritta svolta in aula durante il corso.

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*, Ed. Pàtron, Bologna.

Tesi di laurea: studi e progetti di massima riguardanti i diversi sistemi di trasporto.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

Programmi delle materie di insegnamento.

02
AERODINAMICA
Docente: **Giambattista Scarpi** prof. ord.

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 irrootazionali 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.

1350-1351
ANALISI MATEMATICA I (per Meccanici, Nucleari e Ambiente)
Docenti: **Giovanni Dore** prof. ass. (Meccanici A-O)
Davide Guidetti prof. ass. (Meccanici P-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 R e in 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 R e in C. Equazioni differenziali lineari del primo ordine. Equazioni differenziali lineari di ordine n a coefficienti costanti.

Testi consigliati:

G. GEYMONAT, *Lezioni di Matematica per Allievi Ingegneri*, vol. I, Levrotto & Bella.
J. CECCONI, G. STAMPACCHIA, *Analisi Matematica*, vol. I, Liguori.
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.

1354-1355
ANALISI MATEMATICA II
Docenti: **Enrico Obrecht** prof. ord. (Meccanici A-O)
Marco Longinetti 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. Geometria differenziale delle curve e superficie di R^3.

Successioni e serie di funzioni. Serie di potenze. Serie di Taylor.

Misura di Peano-Jordan in 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 R^n. Integrali curvilinei. Area di una superficie di 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.

4117
ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI
Docente: **Alessandro Freddi** prof. ord.

Il corso si propone di fornire strumenti per la progettazione meccanica di componenti e di sistemi. A questo fine il Corso è articolato nel modo seguente:
— Principi di affidabilità e di progettazione simultanea
— Principi di progettazione metodica
— L'Analisi sperimentale delle tensioni nelle diverse fasi della progettazione
— Applicazione dell'Analisi sperimentale delle tensioni allo studio del comportamento meccanico dei materiali
— Principali tecniche sperimentali di analisi delle tensioni (metodi di ottica coerente, estensimetria, lacche fragili).

Per seguire il corso sono necessarie conoscenze di Scienza delle costruzioni, Costruzione di macchine e Misure meccaniche.

Libri consigliati:

Dispense del corso.
PAHL G. e BAITZ W., *Engineering Design*, Springer Verlag, 1988.

10382
AZIONAMENTI ELETTRICI
Docente: Domenico Casadei prof. ass.

1358
CHIMICA
Docenti: **Bruno Fortunato** prof. ass. (Meccanici A-K)
Andrea Munari prof. ass. (Meccanici L-Z, Nucleari)

Finalità del corso

Introdurre le nozioni necessarie per la conoscenza della struttura atomica e molecolare della materia, in relazione alle proprietà chimiche e chimico-fisiche dei materiali solidi 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 schematico

Parte I — Struttura macroscopica e microscopica dei sistemi chimici: struttura atomica della materia; struttura del nucleo e radioattività; orbitali; configurazioni elettroniche degli atomi e sistema periodico; legame chimico. Proprietà chimiche degli elementi in relazione alla loro posizione nel sistema periodico; struttura dei principali composti inorganici ed organici.

Parte II — I tre stati di aggregazione della materia: lo stato gassoso; lo stato liquido: le soluzioni elettrolitiche e loro proprietà; lo stato solido: i cambiamenti di stato e i diagrammi di stato.

Parte III — Reazioni chimiche: leggi classiche delle combinazioni chimiche; reazioni di ossido riduzione; concetto di equivalente; energia interna ed entalpia. Termochimica. Equilibrio chimico; legge dell'azione di massa; equilibri ionici in soluzione acquosa; acidi; basi; pH; soluzioni tampone; idrolisi; elettroliti anfoteri; equilibri eterogenei; prodotti di solubilità. Cinetica delle reazioni chimiche. Elettrochimica; pile; potenziali elettrodici; serie elettrochimica dei potenziali standard; accumulatori.

Il corso comprende anche esercizi e calcoli numerici (stechiometria, leggi di Faraday, termochimica, equilibri chimici, pH, solubilità e prodotto di solubilità, idrolisi).

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*, Esculapio, 1992.

Svolgimento degli esami: Discussione orale di argomenti svolti nel corso e risoluzione di esercizi numerici.

92
CHIMICA APPLICATA (per Meccanici)
Docente: **Vasco Passalacqua** prof. ass.

Finalità del corso

Formare nell'allievo la capacità di applicare le cognizioni scientifiche apprese nel corso di Chimica ai particolari problemi tecnici che l'ingegnere meccanico dovrà affrontare sia nella gestione dei processi energetici anche in relazione al loro impatto con l'ambiente, sia nella utilizzazione dei materiali di interesse per l'ingegneria. Questa formazione viene realizzata mediante lo studio dei materiali nella loro reattività chimica e nelle loro correlazioni fra microstruttura e proprietà meccaniche, termiche e di durabilità in esercizio, esaminando inoltre le possibilità e le modalità degli interventi per renderli più confacenti al loro uso.

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 - *I principali materiali per l'ingegneria*

a) *Materiali ferrosi*: studio delle strutture e dei cambiamenti strutturali in relazione alle loro caratteristiche meccaniche. Corrosione dei metalli: studio della corrosione umida, della corrosione secca e dei metodi di protezione.

b) *Materie plastiche ed elastomeri*: caratteristiche chimiche e fisiche; cenni sui metodi di produzione e lavorazione delle materie plastiche e delle gomme di uso comune. Invecchiamento e degradazione delle materie plastiche e delle gomme.

c) *Materiali ceramici*: refrattari e leganti idraulici.

Propedeuticità consigliate: Chimica.

Testi consigliati:

1) GIRELLI, *Trattato di Chimica Ind. ed Applicata*, Zanichelli, Bologna.
2) Appunti del Corso.

Svolgimento degli esami

Discussione orale di argomenti svolti nel corso, preceduta da una prova scritta consistente nell'esame guidato di un problema pratico.

Indirizzo della tesi di laurea

Applciativo, in particolare con riferimento alla scelta ed al dimensionamento di massima di specifici processi.

2022
COMPLEMENTI DI COSTRUZIONE DI MACCHINE
Docente: **Eugenio Dragoni** ricerc. (inc.)

Il corso si propone lo scopo di fornire allo studente metodi generali di progettazione più accurati di quelli usuali e approfondimenti sull'utilizzazione di materiali non metallici nelle costruzioni meccaniche.

Durante il corso si «rivisitano» alcuni argomenti di «costruzione di macchine» alla luce deimetodi introdotti con l'uso del calcolatore elettronico e si trattano alcuni argomenti specifici quali il calcolo dello stato deformativo e tensionale in particolari organi di macchina realizzati in materiale non metallico in genere ed in composito.

Propedeuticità consigliate: Costruzione di macchine.

8076
COMPLEMENTI DI IMPIANTI MECCANICI
Docente: **Marco Gentilini** prof. ass.

Il corso si propone di esaminare i principi di funzionamento e gli schemi di realizzazione di impianti avanzati e di ricerca con particolare riferimento alla generazione e conversione di energia da fonti non convenzionali e alternative e alla trasformazione e utilizzazione di rifiuti e inquinanti.

Vengono forniti criteri di economia energetica dei sistemi impiantistici e tecniche di analisi degli investimenti e dei profitti negli interventi per il risparmio energetico inteso come razionale sviluppo dell'impiantistica, orientato alla minimizzazione dei consumi di materie prime a favore di fonti rinnovabili per la conservazione dell'ambiente.

Testi consigliati:

M. GENTILINI, *Elementi di energetica*, Ed. Esculapio, Progetto Leonardo, Bologna, 1992.

Esami:

L'esame consta di una prova orale.

2018

COMPLEMENTI DI MACCHINE

Docente: **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.

6472
COMPLEMENTI DI MECCANICA APPLICATA
Docente: **Alberto Maggiore** 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 traslazioni infinitesime. Jacobiano di un manipolatore. Determinazione analitica dello jacobiano. Calcolo numerico dello jacobiano. Singolarità. Cinematica inversa: risoluzione della velocità. Manipolatori con gradi di libertà ridondanti: soluzione ottimale.

5. *Statica dei manipolatori.* Introduzione. Analisi delle forze e dei momenti. Bilanciamento di forze e momenti.

6. *Dinamica dei manipolatori.* Introduzione. Accelerazione di un corpo rigido. Formulazione delle equazioni del moto (Newton-Euler). Equazioni dinamiche in forma chiusa. Formulazione iterativa delle equazioni del moto. Interpretazione fisica delle equazioni dinamiche. Problema dinamico diretto. Problema dinamico inverso.

7. *Generazione della traiettoria.* Introduzione. Considerazioni generali sulla generazione e descrizione della traiettoria. Programmazione della traiettoria usando il modello dinamico.

8. *Controllo di posizione dei manipolatori.* Introduzione. Controllo di una massa ad un grado di libertà. Sistemi non lineari e tempo-varianti. Il problema del controllo per i manipolatori. Sistemi di controllo degli attuali robot industriali. Controllo adattivo.

9. *Controllo di forza dei manipolatori.* Introduzione. Applicazione dei robot industriali a compiti di assemblaggio. Sensori di forza. Problema del controllo ibrido di forza e posizione. Schemi di controllo degli attuali robot.

10. *Linguaggi e sistemi di programmazione dei robot.* Introduzione. I livelli di programmazione del robot. Requisiti di un linguaggio di programmazione.

11. *Attuatori dei robot industriali e trasmissione del moto.* Introduzione. Attuatori elettrici. Attuatori pneumatici. Attuatori idraulici. Riduttori harmonic-drive e altri. Elementi costruttivi delle coppie cinematiche.

12. *Criteri di impiego dei robot industriali.* Introduzione. Valutazione economica dell'impiego del robot industriale. Inserimento del robot nel processo produttivo. Casi di applicazione relativi ad operazioni di montaggio, di manipolazione e a processi tecnologici di lavorazione.

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.

1921
CONTROLLI AUTOMATICI (per Meccanici)
Docente: **Gianni Bertoni** prof. ord. (inc.)

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 in retroazione di tipo SISO
— presentare i più importanti componenti dei sistemi di controllo e le loro modalità di funzionamento in regime dinamico.

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 e sintesi nel dominio dei tempi: Definizioni e criteri di stabilità. Sistemi del primo e del secondo ordine. Assegnamento dei poli e luogo delle radici (regole di costruzione, proprietà, esempi).
La funzione di risposta armonica: Definizione e sue rappresentazioni: diagrammi polari, diagrammi di Bode. La formula di Bode.
Analisi armonica: Criteri di stabilità. Errori a regime. Margini di ampiezza e di fase. Luoghi a M e a N costante, picco di risonanza e larghezza di banda.
Sintesi nel dominio delle frequenze: Reti correttrici di tipo anticipo, ritardo, anticipo-ritardo. Regolatori standard. Retroazione tachimetrica.
Sistemi in 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.

Modalità di 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.

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 fondamenti 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 rigidezza) — 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.

Università di Bologna
BIBLIOTECA INGEGNERIA
BOLOGNA

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.

5798
COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE
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.

6468
DINAMICA E CONTROLLO DELLE MACCHINE A FLUIDO
Docente: **Claudio Bonacini** 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.

3726
DISEGNO DI MACCHINE (per Meccanici e Ambiente)
Docente: **Gianni Caligiana** ricerc. (inc.)

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.

Propredeuticità consigliate: Disegno.

Testi consigliati:

UNI M1, *Norme per il disegno tecnico*.
CONTI, *Disegno tecnologico*, Pitagora.
MANFE'-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 Libraria.
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.

9758
DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE (per Meccanici)
Docente: **Franco Persiani** prof. ass. (inc.)

Finalità del corso:

Introdurre le nozioni necessarie per la comprensione del linguaggio comune del Disegno tecnico. In particolare si intende dare allo studente le capacità di rappresentare e interpretare correttamente particolari meccanici ed i loro accoppiamenti.

Programma

Il corso è articolato in due parti. La prima, a carattere propedeutico, è volta a dare i fondamenti geometrici che costituiscono la base concettuale per l'esecuzione e l'interpre-

tazione di qualsivoglia disegno. Essi comprendono: costruzioni geometriche fondamentali; cenni di geometria descrittiva, con particolare rilievo per il metodo delle proiezioni ortogonali ed assonometriche; applicazione dei concetti di vera forma di superficie piane e di sviluppabilità della superficie; metodi relativi alle intersezioni e sezioni piane.

La seconda parte del corso è dedicata al disegno meccanico e tratta, in modo sistematico, norme, convenzioni e criteri generali di rappresentazione e quotatura, mettendo in luce la loro stretta relazione con le modalità esecutive e di controllo del pezzo. A questo scopo sono introdotti nel corso alcuni semplici elementi di metrologia, macchine utensili e tecnologie dei materiali; con ciò si intende fornire all'allievo le necessarie cognizioni per la corretta esecuzione e sicura interpretazione del disegno in ogni particolare meccanico. Vengono trattati inoltre, sia dal punto di vista della rappresentazione che da quello funzionale, alcuni elementi fondamentali delle costruzioni meccaniche quali: filettature, linguette, chiavette, profili scanalati e ruote dentate.

Testi consigliati:

1) E. SOBRERO, *Corso di disegno*, Voll. 1 e 2, Pitagora editrice, Bologna.
2) E. MAIFRENI, A. ZAMBONI, *Il disegno meccanico*, Voll. 1, 2 e 3, Editrice Paravia.
3) MANFE', POZZA, SCARATO, *Disegno meccanico*, Voll. 1, 2 e 3, Principato Ed.

Le *Esercitazioni* consistono nello svolgere, in parte in aula, in parte a casa un certo numero di tavole. Gli studenti sono guidati e consigliati durante le esercitazioni dal docente che provvede anche alla correzione di tutti gli elaborati.

L'*esame* è costituito da una prova grafica e da una prova orale. La prova grafica consiste nella esecuzione di uno schizzo.

Si accede alla prova d'esame previa presentazione di tutti gli elaborati svolti e corretti.

9268
ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (per Meccanici, Chimici, Minerari)
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. - I modelli di analisi e valutazione economico-finanziari

Il bilancio dell'impresa (stato patrimoniale e contro 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. Modelli per l'analisi e la valutazione degli investimenti.

2. - L'organizzazione aziendale

L'impresa come sistema di trasformazione. Le relazioni tra imprese 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:

I titoli dei testi per la preparazione dell'esame verranno comunicati all'inizio del corso ed affissi in bacheca.

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 con congruo anticipo.

Al fine di evitare cambiamenti traumatici, agli *studenti in debito di prova* (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 dell'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; rotori 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 meccaniche; avviamento e regolazione di velocità — Impianti elettrici: sistemi di trasporto dell'energia; cadute di tensione in linea; riscaldamento dei conduttori; reti di distribuzione a media e bassa tensione; cabine; messa a terra; protezione contro gli infortuni.

Propedeutici 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.

1367-1368
FISICA I (per Meccanici)
Docenti: **Marco Capponi** prof. ass. (Meccanici A-Q)
Arnaldo Uguzzoni (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 secondo 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.

1371-1373
FISICA II (per Meccanici, Ambiente e Nucleari)
Docente: **Antonio Vitale** prof. ord.

Finalità del corso

Introduzione con *richiami sperimentali* delle leggi fisiche relative a Elettricità, 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 TECNICA
Docente: **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 disponibilità 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 isotermo. 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 isotermo. 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: **Paola Mello** prof. ass. (Meccanici A-O)
Arnaldo 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 Fortran 77) 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. 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. La programmazione strutturata. Cenni sulle strutture dei dati.

— Il Fortran 77:
Alfabeto del Fortran. Costanti, variabili e loro tipi. Istruzioni di definizione. Espressioni. Istruzioni eseguibili di assegnamento, di controllo, di ingresso/uscita. Funzioni e sottoprogrammi.

— Elementi di calcolo numerico:
Interpolazione (metodo polinomiale, delle differenze divise, di Lagrange, dei minimi quadrati). Zeri di un polinomio. Zeri di una funzione (metodo di bisezione, delle tangenti, delle corde). Operazioni su matrici. Soluzioni di sistemi di equazioni lineari (metodo di Gauss, di Gauss-Jordan, di Crout, di Cholesky). Introduzione al problema dei grandi sistemi sparsi di equazioni. Differenziazione numerica. Calcolo degli integrali (metodo dei trapezi, di Simpson, di Gauss). Integrazione di equazioni differenziali alle derivate ordinarie (metodo di Eulero, di Eulero modificato, di Runge-Kutta). Introduzione al problema dell'ottimizzazione.

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

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.

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.

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 trattazione 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.

Testo consigliato:

S. FABBRI, *Impianti meccanici*, Ed. Patron, Bologna.
S. FABBRI, *Elementi di impiantistica meccanica - Aria ed acqua*, Ed. Pitagora, Bologna.

6541
IMPIANTI TECNICI INDUSTRIALI
Docente: **Gianfranco Coli** prof. ass.

L'indirizzo impiantistico recentemente istituito si propone di approfondire problemi tecnici ed organizzativi dell'industria. Questo corso s'inserisce in tale tematica affrontando alcuni problemi di grande attualità.

Programma

Considerazioni economiche relative agli impianti esaminati. Valore attuale, equivalente anno e periodo di recupero.

Impianti con risparmio e per il recupero d'energia. Produzione combinata d'energia elettrica e termica. Impianti integrativi a pompa di calore ed energia solare. Recuperi termici.

Impianti elettrici industriali. Cabina di trasformazione, quadro generale e linea di collegamento. Apparecchi utilizzatori, rifasamento, rendimento degli impianti e tariffe elettriche.

Impianti per il benessere degli ambienti di lavoro. Impianti di riscaldamento, climatizzazione e ventilazione. Aspirazione polveri, vapori e gas. Protezione dai rumori, contro i pericoli elettrici, antincendio. Servizio illuminazione.

Testi consigliati:

O. PIERFEDERICI, *Impianti tecnici industriali*, Pitagora Editrice, Bologna, 1982.

4022
MACCHINE
Docente: **Claudio Bonacini** 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, utilizzanti 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 macchine 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.

9044
MACCHINE ED IMPIANTI ELETTRICI

(vedi Azionamenti elettrici)

670
MACCHINE UTENSILI
Docenti: **Orio Zurla** prof. ass. (Meccanici A-K)
Giovanni Tani prof. ass. (Meccanici L-Z)

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 Libraria Universitaria Bologna.
O. ZURLA, *Appunti di macchine utensili*, Ed. Cooperativa Libraria 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.
G.F. MICHELETTI, *Tecnologia Meccanica*, Voll. 1 e 2, Ed. UTET, Torino.
M. FLEGO, *L'Impiego del Controllo Numerico nella Produzione Meccanica*, Ed. F. Angeli, Milano.
G. HENRIOT, *Ingranaggi*, Vol. 2°, Ed. Tecniche Nuove, Milano.
UNI M3, *Norme per gli utensili che lavorano con asportazione di truciolo*.

L'*esame* consiste in una prova scritta concernente argomenti del corso (es.: stesura di un ciclo di lavorazione, determinazione delle condizioni di impiego di un divisore universale, dimensionamento di massima di una broccia, ecc.) e in una prova orale.

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: **Ettore Funaioli** prof. ord.

Scopo del corso è fornire gli elementi teorici per una corretta progettazione funzionale degli organi che compongono le macchine, e delle macchine nel loro complesso, dai punti di vista cinematico, statico e dinamico.

Programma

Gli argomenti trattati sono i seguenti: composizione delle macchine in relazione alla loro possibilità di movimento; forze che agiscono sulle macchine, con particolare riguardo alle forze di contatto fra i singoli organi, in condizioni di attrito secco e lubrificato; studio geometrico e cinematico degli organi meccanici; studio di alcune macchine fondamentali (sistemi articolati, rotismi, dispositivi a camme, macchine con organi flessibili) dal punto di vista della trasmissione delle forze e della trasmissione di energia; studio dei moti vibratori nelle macchine; problemi di dinamica delle macchine rotanti ed alternative; dinamica degli impianti costituiti da macchine motrici ed operatrici funzionanti in condizioni di regime periodico; regolazione della velocità angolare con particolare riguardo alla regolazione effettuata con l'impiego di componentim eccanici.

Testi consigliati:

FUNAIOLI, *Meccanica applicata alle macchine*, I e II volume, Patron, Bologna.

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.

9612
MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (corso avanzato)
(Meccanica delle Vibrazioni)
Docente: **Umberto Meneghetti** prof. ord.

Il corso si propone di introdurre gli allievi allo studio dei problemi di interesse tecnico connessi con le vibrazioni meccaniche. In particolare, nella prima parte vengono trattati i metodi per modellare i sistemi meccanici al fine di studiarne il comportamento vibratorio, mentre nella seconda parte vengono esposti ed applicati i metodi sperimentali per l'analisi delle vibrazioni.

Programma

Prima parte: *Meccanica delle vibrazioni*. Complementi sui sistemi ad un grado di libertà; sistemi a due e a più gradi di libertà; metodi numerici; metodo degli elementi componenti: applicazioni a organi meccanici e a meccanismi; approccio modale: vibrazioni libere e forzate, esempi, applicazioni; sistemi continui; sistemi non lineari; vibrazioni parametriche; applicazioni tecniche. Sugli argomenti di questa prima parte del corso sarà

possibile svolgere alcune esercitazioni con impiego di semplici codici numerici.

Seconda parte: *Analisi sperimentale delle vibrazioni*. La catena di misura e i suoi componenti; analisi del segnale; rilievi sperimentali; interpretazione dei risultati; applicazioni industriali; effetti delle vibrazioni, sorveglianza delle macchine, diagnostica industriale, manutenzione sotto condizione; analisi modale sperimentale. In questa parte del corso verranno svolte anche alcune esercitazioni di laboratorio.

Nota. Agli allievi del corso è data la possibilità di svolgere, oltre alle *esercitazioni* sopra indicate, brevi tesi su argomenti attinenti al corso stesso. Tali tesi potranno eventualmente venire nel seguito sviluppate come *tesi di laurea*.

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 riguardanti i seguenti argomenti: Statica dei liquidi; liquidi in equilibrio nel campo della gravità; forze idrostatiche trasmesse a pareti; equilibrio dei galleggianti. Nozioni generali di dinamica dei liquidi. Efflusso di liquidi da luci di vario tipo. Azioni di getti e vene liquide contro superfici solide. Nozioni necessarie per risolvere i problemi di deflusso di liquidi in condotti in pressione e a pelo libero; sia in regime permanente, sia in regime vario (propagazione di piccole perturbazioni nei canali; fenomeni di colpo di ariete, oscillazioni di insieme). Moti di filtrazione. Cenni di misure e modelli idraulici.

Programma

Unità di misura, omogeneità, teorema π. Costanti meccaniche dei liquidi. Equazione di continuità. Equazione del moto per mezzi continui. Idrostatica: forze idrostatiche trasmesse a pareti solide, equilibrio dei galleggianti. Azione di getti su superfici solide. Equazioni dei liquidi perfetti. Teorema di Bernoulli. Efflusso da luci a battente e a stramazzo. Esperienza di Reynolds: moto laminare e turbolento. Moto di liquidi in condotte in pressione ed in canali a pelo libero, in regime permanente ed in regime vario (propagazione di piccole onde nei canali, fenomeni di colpo d'ariete, oscillazioni d'insieme). Moti di filtrazione. Equazione dei liquidi viscosi (Navier-Stokes). Cenni sui liquidi non newtoniani. Similitudine meccanica.

Testi consigliati:

Dispese approvate dal docente.

G. SUPINO, *Idraulica*, Patron.
CITRINI-NOSEDA, *Idraulica*, Ed. Ambrosiana.
Appunti dalle lezioni del Prof. Cocchi, Editrice CLUEB Bologna.

Esami orali.

1379-1380
MECCANICA RAZIONALE
Docenti: **Augusto Muracchini** ricerc. (inc.) (Meccanici A-O)
Mauro Fabrizio prof. ord. (Meccanici P-Z, Nucleari, Ambiente)

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. Il corso intende promuovere una più ampia conoscenza e padronanza dei modelli matematici per i sistemi in questione, addestrando insieme ad un loro uso consapevole ed efficace nella soluzione di problemi.

Programma

Cenni di Calcolo vettoriale.

Vettori applicati.
Momento polare ed assiale di un vettore applicato.
Equivalenza e riducibilità fra sistemi di vettori applicati. Sistemi piani.
Sistemi di vettori applicati paralleli. Centro.

Cinematica del punto.
Concetto di spazio e tempo.
Moto del punto, velocità e accelerazione.
Moti piani in coordinate polari.
Velocità areale. Moti centrali.
Moto circolare ed uniforme. Moto armonico ed elicoidale.

Cinematica dei sistemi materiali.
Vincoli e sistemi olonomi.
Cinematica dei sistemi rigidi.
Angoli di Eulero.
Moto ed atto di moto traslatorio, rotatorio ed elicoidale.
Teorema di Mozzi.

Cinematica dei moti relativi.
Teorema di composizione delle velocità e delle accelerazioni.

Moti rigidi piani.

Centro istantaneo, base e rulletta.
Accelerazione nel moto rigido piano.

Dinamica del punto.

Concetti di massa e forza. Dinamica del punto materiale libero. Concetto di Sistema Dinamico. Sistema regolari. Forze interne come sistema dinamico. Forza peso. Teorema delle forze vive. Principio di Dissipazione delle Forze Interne. Forze conservative. Integrali primi. Moto dei gravi nel vuoto. Moto armonico e armonico smorzato. Risonanza. Moto di un punto vincolato. Principio dei lavori virtuali per le reazioni vincolari. Pendolo. Metodo di Wejestrass. Moti relativi. Problema dei due corpi. Deviazione dei gravi in caduta.

Geometria delle masse.

Baricentro di un sistema materiale. Applicazioni.
Momenti d'inerzia e sue proprietà. Quantità di moto. Momento della quantità di moto. Ellissoide d'inerzia. Teorema di Huyghens.

Statica e Dinamica dei Sistemi Materiali.

Teorema della Quantità di Moto e del Momento della Quantità di Moto. Teorema delle Forze Vive e di Conservazione dell'Energia. Moto di un corpo rigido con un asse fisso. Pendolo fisico. Moto di un corpo rigido con un punto fisso. Equazioni di Eulero. Moto alla Poinsot. Cenni sui fenomeni giroscopici.

Meccanica Analitica.

Principio dei Lavori Virtuali. Equazione Simbolica della Statica e della Dinamica. Condizioni per l'equilibrio per sistemi olonomi. Forze Generalizzate di Lagrange. Applicazioni. Metodo dei moltiplicatori di Lagrange. Calcolo delle reazioni vincolari. Equazioni di Lagrange. Applicazioni, Lagrangiana. Equazioni di Hamilton.

Stabilità e Piccole Oscillazioni.

Definizione di stabilità dell'equilibrio. Teorema di Dirichlet. Teoria delle piccole oscillazioni attorno ad una posizione di equilibrio stabile. Frequenze di vibrazione propria.

Testi consigliati:

M. Fabrizio, *La meccanica razionale e i suoi metodi matematici*, Zanichelli, Bologna
D. Graffi, *Lezioni di Meccanica razionale*, Pàtron, Bologna.
T. Levi Civita, U. Amaldi, *Meccanica razionale*, Zanichelli, Bologna.
Cercignani, *Spazio, tempo, movimento*, Zanichelli, Bologna.
Grioli, *Lezioni di Meccanica razionale*, Cortina, Padova.
A. Muracchini, T. Ruggeri, L. Seccia, *Laboratorio di meccanica razionale*, Esculapio, Bologna.

L'*esame* è costituito da una prova scritta ed una orale.

Propedeuticità consigliate: Analisi matematica I e II, Geometria e 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.

2020
ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE
Docente: **Giorgio Bartolozzi** prof. ord. (inc.)

Finalità del corso

Dare una conoscenza dei sistemi produttivi, degli elementi che li compongono, dei loro collegamenti e dei meccanismi operativi che li governano, collegando i vari momenti ed i vari elementi attraverso il filo conduttore rappresentato dal ciclo di vita del sistema produttivo.

Dare la padronanza di alcune tecniche attinenti la progettazione e la gestione dei sistemi produttivi, nonché una capacità di analizzare le relative situazioni.

Programma

Definizione di sistema produttivo e di ciclo di vita del sistema produttivo.

La decisione del prodotto: metodi di scelta preliminare per nuovi prodotti; definizione formale delle caratteristiche del prodotto; metodi di analisi economica di massima: carta di break-even semplice e multi-prodotto.

Progetto e sviluppo di prodotti e scelta dei processi produttivi: metodologia e criteri di progettazione; criteri di scelta dei processi produttivi.

Progettazione del sistema produttivo:
— tipologia del sistema produttivo
— tipologia di disposizione planimetrica
— disposizione degli impianti (lay-out).

Il «Pert».

La programmazione della produzione: a livello aggregato; a livello di dettaglio a breve; pianificazione e controllo delle scorte.

I tempi di lavorazione ed il metodo delle osservazioni istantanee.

Orientamenti per la progettazione delle operazioni: criteri di analisi e progettazione; il posto di lavoro, l'ambiente di lavoro.

Analisi economica delle alternative di investimenti: fasi logiche attraverso le quali si perviene ad una scelta; fattori di rischio di incertezza, metodi di valutazione degli investimenti: metodo del valore presente e metodo del tasso di redditività interna.

La programmazione lineare.

Concetti di base di statistica: elementi di probabilità; il campionamento; la correlazione.

Propedeuticità consigliate: Economia ed organizzazione aziendale.

Testi consigliati:

BUFFA, *Manuale di direzione ed organizzazione della produzione industriale*, Franco Angeli Editore.

BURBIDGE, *Il controllo direzionale della produzione*, Franco Angeli Editore.

BARNES, *Work sampling*, Editore Wiley.

THUESEN, *Engineering Economy*, Editore Prentice-Hall Inc.

ANGARONI, *Profilo storico dell'impresa*, Vita e Pensiero, Pubblicazioni dell'Università Cattolica di Milano.

CHASE E AQUILANO, *Production and Operation Management*, A life cycle approach, Irwin.

Esame orale.

Indirizzo delle *Tesi di Laurea*: Applicativo, tendenzialmente volto alla risoluzione dei problemi concreti di impresa.

6937

PIANIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI MECCANICI

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 meccanici.

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 (energie, materie prime ed accessorie, ecc. ...). 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. Scelta delle macchine, attrezzature ed apparecchiature di produzione. Definizione delle esigenze di spazio e confronto con le disponibilità. Stesura ed analisi del diagramma delle relazioni fra gli spazi. Considerazioni di modifica e limitazioni pratiche. Formulazione delle alternative di lay-out, anche con l'ausilio di programmi di calcolo, e criteri di scelta del lay-out ottimale. Stesura del progetto esecutivo. Tempi e metodi di realizzazione dell'impianto con applicazione di tecniche reticolari. Sviluppo e controllo delle varie fasi di realizzazione.

3 — Gestione degli impianti industriali meccanici

Criteri e tecniche di pianificazione e controllo della produzione. La gestione dei materiali e dei magazzini. Elementi di logistica industriale.

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...).

Testi consigliati:

Dispense redatte dal docente.

F. Turco, *Principi generali di progettazione degli impianti industriali*, C.L.U.P., Milano, 1978.

R. Muther, *Manuale del lay-out*, ETAS KOMPASS, Milano, 1967.

R.L. Francis, J.A. WhiteH, *Facility lay-out and location: an analytical approach*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.

J.M. Moore, *Progettazione e lay-out degli impianti*, Franco Angeli, Milano, 1972.

A. Brandolese, *Studio del mercato e del prodotto*, C.L.U.P., Milano, 1977.

D. Del Mar, *Operations and industrial management*, McGraw-Hill, 1985.

A. Brandolese, M. Garetti, *Processi produttivi. Criteri tecnici di scelta e progettazione*, C.L.U.P., Milano, 1982.

R.J. Tersine, *Production/operations management*, North Holland, New York, 1985.

Indirizzo delle tesi di laurea: applicativo-progettuale o di ricerca su tematiche dei sistemi di produzione.

5799

PROGETTAZIONE ASSISTITA DI STRUTTURE MECCANICHE

Docente: **Pier Gabriele Molari** prof. ord.

Il corso si propone di far capire le problematiche che sorgono nella azienda meccanica con l'introduzione dell'elaboratore elettronico e di far utilizzare concretamente il calcolatore stesso nella progettazione meccanica.

Introduzione alla progettazione assistita
— La progettazione assistita com elemento unificatore dei settori tecnici, produttivi e gestionali dell'azienda;
— Il «data-base» per l'azienda meccanica;
— L'interattività calcolatore-progettista, le tecniche per favorire lo «user friendly»;
— L'impostazione del progetto con l'ausilio del calcolatore;
— La scelta dell'«hardware» e del «software» di base: criteri tecnico-economici.

La grafica al calcolatore
— I vantaggi offerti dalla rappresentazione grafica;
— Principi della grafica per l'industria meccanica: il disegno come primo input di dati;
— La grafica «piana». La tecnica dei «menù»;
— La grafica «tridimensionale». I modellatori geometrici;
— La scelta dei terminali ad alta risoluzione.

Il calcolo strutturale
— Il modello della forma, dei vincoli, del materiale e del carico negli organi di macchina;
— Modelli lineari e non lineari e loro limiti di validità;
— L'impostazione matriciale del calcolo strutturale;
— Il calcolo degli alberi di macchina;
— Il calcolo delle strutture piane e spaziali con l'elemento finito;
— I modellatori geometrici e i problemi di «mesh» automatica per analisi con l'elemento finito;
— Il calcolo delle strutture vibranti;
— I «package» disponibili e criteri per la loro scelta.

Il progetto meccanico
— Metodi numerici di ricerca di punti estremanti liberi e vincolati;
— Criteri per la definizione della funzione obiettivo;
— Criteri per la definizione delle funzioni di vincolo;
— Esempi.

Durante le *esercitazioni* si realizzano programmi di calcolo utilizzando il calcolatore ed i terminali della Facoltà.

Propedeuticità: un Corso di informatica.

818
PROGETTI DI MACCHINE
Docente: **Alessandro Freddi** prof. ord. (inc.)

Il corso si propone lo studio della impostazione, sviluppo e gestione del progetto costruttivo delle macchine nei suoi aspetti funzionale, produttivo, economico.

A questo fine il Corso è articolato nel modo seguente:
— Principi di affidabilità e di progettazione simultanea
— Principi di progettazione metodica
— Progettazione per il montaggio
— Calcolo delle piastre e dei gusci
— Vibrazioni flessionali e torsionali

Per seguire il corso sono necessarie conoscenze di Meccanica applicata alle macchine, Scienza delle costruzioni, Costruzione di macchine.

Libri consigliati:

PAHL G. e BAITZ 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.

886
SCIENZA DEI METALLI (per Meccanici II anno)
Docente: **Giorgio Poli** prof. ass.

Finalità del corso:

Il corso si propone di presentare allo studente un quadro il più ampio possibile delle strette correlazioni che esistono fra struttura e proprietà dei materiali metallici, al fine di giustificare il loro comportamento durante l'esercizio. Vengono inoltre presentati i metodi di rinforzo dei metalli. Conclude il corso una rassegna delle varie tipologie con particolare riguardo all'innovazione ed ai criteri di scelta dei materiali in funzione dell'uso.

Programma

Correlazioni struttura-proprietà

La struttura ai diversi livelli dimensionali. La nanostruttura dei materiali: richiami alla struttura dell'atomo ed al legame chimico. Ordine a corto raggio: la struttura dei liquidi e dei materiali amorfi. Passaggio di stato liquido-solido. Ordine a lungo raggio: la struttura cristallina. I solidi reali: lo stato difettivo. Elasticità e plasticità dei metalli. Influenza del tempo sul comportamento sotto carico dei metalli. Scorrimento viscoso. Resilienza. La rottura dei metalli: cenni alla meccanica della frattura lineare elastica. 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.

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 metalli a disposizione per il progettista meccanico.

I metalli a base ferro: cenni alla siderurgia. Il sistema Fe-C. Il caso delle ghise. Gli acciai. Le variazioni strutturali e la modifica delle resistenze meccaniche. Le trasformazioni isoterme ed anisoterme dell'austenite. Proprietà meccaniche differenziate fra superficie e cuore. La normazione. Gli acciai di nuova formulazione.

I metalli a base alluminio. Produzione e proprietà fondamentali. La tempra di soluzione. Normazione.

Cenni sui metalli a base rame e titanio.

Criteri fondamentali per la scelta dei materiali nella progettazione meccanica.

Il corso è integrato da alcune esercitazioni di metallografia, frattoscopia ed analisi di casi reali di rottura e di corrosione.

La prova di esame è orale.

Testi consigliati:

1) Dispense del corso.
2) D.R. Askeland, *The Science and Engineering of Materials*, Chapman & Hall (1991). Solo la parte riguardante i metalli.

886
SCIENZA DEI METALLI (per Meccanici V anno)
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 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 ed Elettrotecnici)
Docente: **Erasmo 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. Ten-

sore 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 «crak» 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:

1) Dispense redatte dal docente.
2) Viola E., *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni*, Pitagora, Bologna.
   — Vol. I: *Strutture isostatiche e Geometria delle masse.*
   —Vol. II: *Strutture iperstatiche e verifiche di resistenza.*
   — Vol. III: *Introduzione all'analisi probabilistica delle strutture.*
   — Vol. IV: Temi d'esame.
3) Di Tommaso A., *Fondamenti di Scienza delle Costruzioni*, Pàtron, Bologna.
4) Carpinteri A., *Geometria delle masse*, Pitagora, Bologna.
5) Capurso M., *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, Pitagora, Bologna.
6) D'Anna E., *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, CLUEB, Bologna.

Esami: una prova scritta ed una orale.

4146
STRUMENTAZIONE INDUSTRIALE
Docente: **Sergio Fabbri** prof. ord. (inc.)

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.

2011
TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE
Docente: **Giannino Praitoni** prof. ass.

(V. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Sez. Trasporti).

1031
TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI
Docente: **Alessandro Orlandi** prof. ord.

(V. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Sez. Trasporti).

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, borurizzazione). 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.

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 vibratori nelle strutture e nel comando delle macchine utensili.

2016
TRAZIONE E PROPULSIONE
Docente: **Mario Matassa** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Sez. Trasporti)

8081
TURBOMACCHINE
Docente: **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 palettamenti.

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 palettamenti 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.

CORSI DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTROTECNICA E 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
4138 Linguaggi di programmazione
v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica

2011 Tecnica della circolazione
1031 Tecnica ed economia dei trasporti
v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile

2237
APPLICAZIONI INDUSTRIALI DELL'ELETTROTECNICA (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 φ 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.

81
CALCOLO DELLE 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.

2. *Parametri che intervengono nel calcolo delle macchine elettriche.* Grandezze ideali di macchina: lunghezza, passo, spessore di traferro. 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 rotanti. Applicazioni alle macchine sincrone, asincrone del tipo a gabbia e a lamina. Il fattore di resistenza per gli avvolgimenti in corrente alternata: caso di un solo conduttore massiccio o di più conduttori in cava. Applicazioni al caso di avvolgimenti di trasformatori e macchine rotanti.

3. *Dimensionamento elettromagnetico delle macchine elettriche.* Dati di specifica. Fasi di progetto e verifica. Dimensionamento delle macchine asincrone, sincrone e a corrente continua. Metodi di programmazione con personal computer.

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 diffe-

renziali. Vantaggi e svantaggi dell'utilizzo dell'idrogeno per il raffreddamento delle grandi macchine rotanti.

5. *Cenni sul funzionamento e sulla teoria di macchine elettriche speciali.*

6. *Disegno assistito da personal computer per la progettazione delle macchine elettriche.*

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.

86
CENTRALI ELETTRICHE
Docente: **Carlo Alberto Nucci** ricerc. (inc.)

Programma

Generalità sugli impianti di produzione di energia elettrica e sui consumi di energia (diagrammi di carico).

Elementi impiantistici dei diversi tipi di centrale: centrali idroelettriche e centrali di pompaggio; centrali termoelettriche a vapore; centrali a gas e centrali miste gas-vapore; centrali nulceari.

Cenni sulla conmversione magneto-aerodinamica.

Conversione dell'energia eolica e solare.

I servizi ausiliari delle centrali, in particolare delle grandi centrali termoelettriche.

L'alimentazione in corrente continua dei servizi d'emergenza.

Problemi connesi con la produzione dell'energia elettrica: danni e pericoli causati all'ambiente ed alle persone.

I *generatori sincroni trifase*: sistemi di eccitazione; curve delle prestazioni limite; le trasformate di Park; il funzionamento dei generatori sincroni in regime dinamico; il corto circuito dei generatori sincroni trifase; la stabilità di trasmissione (stabilità statica, transitoria e dinamica); il calcolo dei transitori elettromeccanici delle macchine sincrone; la regolazione della tensione; la regolazione della frequenza.

Lo *studio dei flussi di potenza* nelle reti (load-flow): analisi nodale della rete; determinazione dei coefficienti della matrice delle ammettenze dirette; il calcolo della ripartizione

dei carichi. Il metodo di soluzione basato sul metodo di Gauss-Seidel. Il metodo di soluzione basato sul metodo di Newton-Raphson.

L'approssimazione in corrente continua. Considerazioni sulla convergenza e confronto dei metodi.

Cenni sui *codici* ingegneristici *di simulazione* del funzionamento dinamico delle centrali.

1359
CHIMICA (per Elettrici, 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 atmico 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 Cp e Cv. 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, alcooli, 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.

4118-10386
COMPLEMENTI DI MACCHINE ELETTRICHE (MODELLISTICA DEI SISTEMI ELETTROMECCANICI)
Docente: **Domenico Casadei** prof. ass.

Il corso analizza la dinamica delle macchine elettriche rotanti impostando una tratta-

zione 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 transitori 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 svariatissimi, in particolare di controlli automatici e di stabilità.

E' disponibile un testo scritto dal docente.

196
CONTROLLI AUTOMATICI
Docente: **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.

Programma

1) Concetti fondamentali: sistemi e modelli matematici, schemi a blocchi, controlli ad azione diretta e in retroazione, 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, la formula di Bode, diagrammi polari, 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, 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 correttrici: dati di specifica e loro compatibilità, le principali reti correttrici a resistenze e capacità, la compensazione mediante reti ritardatrici, anticipatrici, a ritardo e anticipo e a T, 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, metodo grafico per l'analisi dei sistemi a relè.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica I e II, Macchine elettriche.

Testi consigliati:

G. MARRO, *Controlli automatici*, Zanichelli, Bologna, 1987.

Gli *esami* consistono in una prova scritta e una prova orale. Il superamento della prova scritta è obbligatorio per l'accesso alla prova orale.

205
COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE
Docente: **Giovanni Serra** prof. ass.

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 delle macchine elettriche. Inoltre vengono analizzate le metodologie relative al controllo dei motori c.c. e c.a. mediante dispositivi a semiconduttori.

Programma

Strutture magnetiche ed avvolgimenti impiegati nella realizzazione delle macchine elettriche statiche e rotanti. Caratteristiche ed elementi per il dimensionamento delle macchine per scopi speciali. Problemi termici e meccanici: dimensionamento degli alberi rotanti, velocità critiche, vibrazioni, equilibratura dei rotori, rumori, perdite e raffreddamento. Condizioni e tipo di servizio. Problematiche inerenti l'avviamento, la frenatura e la regolazione della velocità delle macchine elettriche. Esame dei principali dispositivi a semiconduttore per il controllo dei motori c.c.; convertitori c.a./c.c. e chopper. Caratteristiche degli azionamenti che impiegano motori c.c. nel funzionamento sui quattro quadranti. Strategie di controllo della coppia e della velocità dei motori c.c. Caratteristiche degli inverter a commutazione naturale e forzata. Inverter di tensione e di corrente. Cicloconvertitori.

Controllo di coppia e velocità dei motori sincroni con metodi di tipo scalare e vettoriale. Caratteristiche degli azionamenti che impiegano motori di tipo brushless. Controllo della velocità e della coppia delle macchine asincrone con metodi di tipo scalare. Controllo ad orientamento di campo delle macchine asincrone. Azionamenti a controllo della potenza di scorrimento mediante convertitori statici: Kramer statico, Scherbius statico.

Testi consigliati:

E. Di Pierro, *Costruzioni Elettromeccaniche*, Ed. Siderea, Roma.
E. Pagano, A. Perfetto, *Costruzioni Elettromeccaniche*, Ed. Massimo, Napoli.
J.M.D. Murphy, *Transistor Control of A.C. Motors*, Pergamon Press.
B.K. Bose, *Power Electronics and AC Drives*, Prentice-Hall, N.J., 1986.

9758
DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE (Elettrici, Chimici, Nucleari, Ambiente)
Docente: **Gianni Caligiana** ricerc. (inc.)

Finalità del Corso:

Il Corso ha lo scopo di fornire le basi necessarie per l'interpretazione e l'esecuzione del disegno. In particolare, dopo una prima parte dedicata al disegno geometrico, vengono esaminate le principali norme da impiegare per la corretta rappresentazione di particolari e complessivi.

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*.
Lo *sviluppo* delle superfici.
Proiezioni assonometriche oblique ed ortogonali.
Disegno tecnico, viste e sezioni.
Norme e convenzioni di *quotatura*. Centri di quotatura. Criteri di quotatura.
Metrologia. Filettature. Tolleranze.
Guida al *moto* rettilineo. Guida al moto rotatorio. Trasmissione del moto.
Ruote dentate.
Disegno di complessivi e di particolari.
Materiali. Prove di laboratorio: trazione, carico di rottura, allungamento, resilienza. Classificazione degli acciai.
(Un programma più dettagliato verrà fornito a lezione).

Testi consigliati:

E. Sobrero, *Corso di disegno*, 1°, 2° vol., Ed. Pitagora.
Manfè, Pozza, Scarato, *Disegno meccanico*, 1°, 2°, 3° vol., Ed. Principato.
Uni Mi *Norme per il disegno tecnico vol. 1°, Norme generali - vol. 2° Meccanica e settori correlati.*
Maifreni, Zamboni, *Il Disegno meccanico*, 1°, 2°, 3° vol., Ed. Paravia.

Esame

L'esame consta di:

— una prova scritta (analoga ad una delle tavole che verranno assegnate durante le esercitazioni pratiche durante lo svolgimento del corso).
— una prova orale basata sul programma svolto durante il corso e sulla discussione degli elaborati grafici.

5694
ECONOMIA DELL'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 sistemie conomici: 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 taxcs». 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 applciazioni 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. Bradly, S.C. Myers, *Finanza aziendale*, McGraw-Hill, 1990.
C.A. D'Ambrosio, S.D. Hoadges, *Finanza aziendale*, McGraw-Hill, 1991.

9041
ELEMENTI DI FISICA E DI INGEGNERIA DEI PLASMI
MAGNETOFLUIDODINAMICA APPLICATA
Docente: **Carlo Angelo Borghi** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare).

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 commutazionone; 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 elettoottici, 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.

277
ELETTROTECNICA I (Principi di ingegneria elettrica)
Docente: **Ugo Reggiani** prof. ord.

(v. Principi di Ingegneria Elettrica)

5695
ESERCIZIO DELLE RETI ELETTRICHE DI ENERGIA
Docente: **Giovanni Malaman** prof. ass.

Il corso ha come oggetto lo studio del funzionamento dei sistemi elettrici di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica. Presuppone negli allievi la conoscenza acquisita in corsi precedenti, dei singoli elementi costitutivi degli impianti elettrici e studia il comportamento degli stessi integrati in un sistema.

Vengono esaminate le condizioni che portano alla localizzazione delle centrali di produzione nonché le caratteristiche delle varie zone di utilizzazione e i concetti alla base della pianificazione e progettazione delle reti di trasporto di energia elettrica e delle reti di distribuzione primarie e secondarie, nonché i criteri alla base della scelta delle tensioni unificate.

Dopo alcuni richiami di matematica il corso analizza i seguenti punti relativi al funzionamento delle reti elettriche:

— Sovratensioni di origine esterna e interna - Propagazione e riflessione delle sovratensioni sulle linee - Protezioni preventive e repressive - Coordinamento degli isolamenti.

— Calcolo delle correnti di corto circuito in reti complesse, per vari tipi di c.c. (trifasi, monofasi a terra, tra due fasi e tra due fasi e terra) - Sistemi rapidi e selettivi di protezione contro i c.c. per le linee, le macchine ecc. - Interruttori a richiusura rapida.

— Regolazione della tensione nelle reti di trasporto e di distribuzione primaria e secondaria - Rifasamento e controllo dei flussi di potenza reattiva.

— Regolazione della frequenza e ripartizione del carico attivo tra le centrali di una rete - Regolazione di una rete con centrale pilota e regolazione frequenza-potenza per reti interconnesse.

— Problemi di stabilità della trasmissione di energia.

— La sicurezza negli impianti AT ed MT e negli impianti utilizzatori.

— Cenno ai costi degli impianti e ai problemi di convenienza economica.

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 una trattazione di tali sistemi di telecomunicazione, con riferimento in particolare ai collegamenti a mezzo di ponti radio e di onde convogliate.

Il corso comprende *esercitazioni* 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 C.O.D. Centro operativo distrettuale di controllo della rete di distribuzione dell'Emilia-Romagna.

Testi consigliati:

N. Faletti, *Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica*, 2 VoL. Pàtron, Bologna.
G. Malaman - A. Giorgi - M. Calzati, *Teletrasmissioni al servizio delle reti elettriche di energia*, Pitagora Editrice, Bologna.

6797
FISICA TECNICA (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)
Docente: **Enzo Zanchini** prof. ass.

Finalità del corso

Il corso di propone di fornire conoscenze di base di termodinamica, fluidodinamica e termocinetica, propedeutiche ai corsi impiantistici ed atte a sviluppare una corretta mentalità di approccio ai problemi energetici.

Programma

Termodinamica

Fondamenti di termodinamica — Definizioni dei concetti basilari — Primo postulato — Definizione della proprietà energia, additività dell'energia — Secondo postulato e principio di stato — Serbatoio e principio di Kelvin-Planck (come teorema) — Sistema in combinazione con un serbatoio e relativi teoremi — Definizioni delle proprietà temperature (Kelvin) ed entropia, additività dell'entropia — Principi di non diminuzione dell'entropia e della massima entropia — Relazione fondamentale — Potenziale totale e chimico, forza generalizzata, pressione — Equazione di Gibbs — Sistema semplice, energia interna ed entalpia, equazioni del Tds — Condizioni per l'equilibrio mutuamente stabile — Energie libere di Gibbs e di Helmoltz — Condizione di equilibrio chimico — Funzioni di disponibilità — Motrice termica, macchina frigorifera e coefficienti ϵ ed η di Carnot — Regola delle fasi di Gibbs — Interazione di tipo calore e schematizzazione dei processi reali — Bilanci di massa e di energia per sistemi semplici in moto o sistemi aperti — Rendimento termodinamico.

Sistemi semplici monocomponenti — Calori specifici — Equazione di stato — Superficie p, v, T e diagramma p, v — Gas ideali — Leggi di Avogadro e Joule — Variazioni di energia interna, entalpia ed entropia — Calori specifici e processi particolari di gas ideali — Proprietà dei liquidi (cenni) — Vapori saturi e loro proprietà — Equazione di Clapeyron — Vapori surriscaldati e loro proprietà — Gas reali — Equazione di Van der Waals, legge degli stati corrispondenti e fattore di compressibilità — Proprietà dei gas reali.

Sistemi semplici multicomponenti — Frazioni massiche e molari — Miscele di gas ideali

— Pressioni e volumi parziali — Proprietà delle miscele di gas ideali — Miscele di aria e vapore d'acqua e loro proprietà — Diagrammi j-x e psicometrico — Misura del grado igrometrico — Applicazioni tecniche.

Cicli termodinamici — Cicli motori Otto, Diesel e Rankine — 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-Stockes — Casi semplici di moto laminare — Cenno alla teoria dello strato limite — Equazione di bilancio dell'energia meccanica — Prevalenza — Perdite di carico — Legge di Reynolds per il fattore d'attrito — Diagramma di Moody — Perdite di carico concentrate — Pressione effettiva — Misure di velocità e di portata — Efflusso sotto forti differenze di pressione.

Termocinetica

Conduzione — Legge di Fourier — Equazione di Fourier o dell'energia — Casi semplici di conduzione stazionaria in geometria piana, cilindrica e sferica — Esempio di conduzione non stazionaria monodimensionale — Esempio di conduzione stazionaria monodimensionale con generazione — Misura della conducibilità termica.

Convezione — Equazioni fondamentali del moto non isotermo — Coefficiente di convezione e numero di Nusselt — Adimensionalizzazione delle equazioni e relazione $Nu = Nu(Re,Gr,Pr)$ in convezione mista — Similitudine — Strato limite termico — Convezione forzata — Convezione naturale.

Irraggiamento termico — Definizioni — Cavità isoterma e corpo nero — Leggi di Kirchhoff, di Stefan-Boltzmann, di Planck, del regresso di Wien, di Lambert — Corpo grigio — Scambi di energia per irraggiamento fra corpi neri e grigi — Fattori di forma — Cenno ai corpi non grigi — Coefficiente di irraggiamento.

Problemi composti di scambio termico — Coefficiente di adduzione — Resistenza termica globale e coefficiente globale di scambio termico — Esempi in geometria piana e cilindrica — Superfici alettate — Scambiatori di calore.

Testi consigliati:

1) E. ZANCHINI, *I principi basilari della termodinamica*, CUSL, Bologna, 1987.
2) E. ZANCHINI, *Dispense di termodinamica applicata, termofluidodinamica, Irraggiamento termico e problemi composti di scambio termico*, disponibili presso l'Istituto di Fisica Tecnica.
3) A. GIULIANINI, *Esercizi di Fisica Tecnica*, Vol. I e II, Pàtron, Bologna, 1980.

Lo svolgimento del corso è accompagnato da *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 fluidodinamica ed alla termocinetica: i temi possono essere sia teorici che applicativi (con riferimento alle applicazioni illustrate nelle esercitazioni).

LETTURE SCELTE

INGEGNERIA

Editrice CLUEB Bologna

Editrice CLUEB Bologna
INGEGNERIA

CLUEB EDITRICE UNIVERSITARIA

TESTI E LETTURE

COLLANE

LIBRI & LIBRI

RIVISTE

Perchè Clueb?

La Clueb è l'editrice universitaria di Bologna da oltre trenta anni. Questa presenza ha garantito e garantisce la pubblicazione di testi, documentazioni didattiche e di ricerca che favoriscono la conoscenza dei metodi, dei contenuti disciplinari e dello sviluppo delle attività scientifiche.

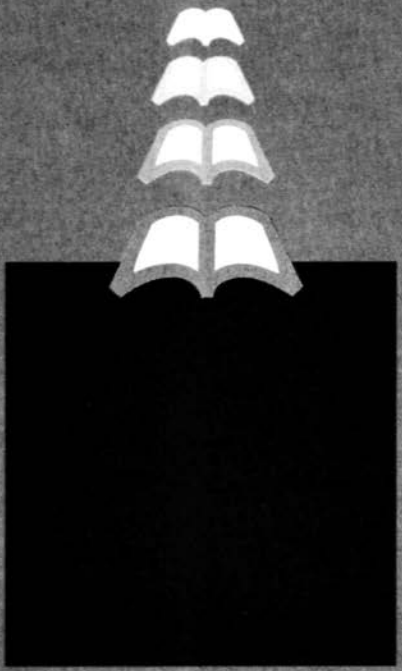
Perchè questo inserto?

La Clueb pone a disposizione degli studenti, dei docenti e di tutti gli studiosi un elenco di titoli estratti dal proprio catalogo. E' uno strumento utile sia all'approfondimento tematico specialistico sia a una informazione culturale più ampia.

della stessa serie inserti nelle
guide per le facoltà di:

- AGRARIA
- ECONOMIA E COMMERCIO
- GIURISPRUDENZA
- LETTERE E FILOSOFIA
- MAGISTERO
- MEDICINA E CHIRURGIA
- SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI
- SCIENZE POLITICHE
- SCIENZE STATISTICHE DEMOGRAFICHE E ATTUARIALI

TESTI E LETTURE



C *Questo simbolo accanto al titolo indica:*
testo appartenente ad una collana.

N *Questo simbolo accanto al titolo indica:*
testo di recente pubblicazione.

Titolo su banda verde:
scheda completa di riproduzione grafica della copertina.

Editrice CLUEB Bologna

BASSI P. - ZOBOLI M.,
Introduzione all'uso di 'Asyst'.
Un linguaggio per l'elaborazione di dati e la gestione automatica di strumenti,
pp. 52 - L. 7.000

CAVALLINA T.,
Esercitazioni di scienza delle costruzioni,
pp. 292 - 280 ill., - L. 35.000



CINI L.,
Lezioni di tecnologia dei materiali e chimica applicata,
pp. 344 - 139 ill. - 3 t.f.t. - L. 40.000



D'ANNA E.,
Appunti di scienza delle costruzioni,
pp. XIV-408 - 172 ill. - L. 50.000

FUNAIOLI E.,
Lezioni di macchine utensili,
pp. 284 - 255 ill. - 9 t.f.t. - L. 34.000

GHIGI P.,
Esercizi di elettrotecnica,
pp. 108 - 80 ill. - L. 13.000

GIORGI A.,
Impianti elettrici. Esercitazioni,
pp. 160 - 89 ill. - L. 18.000

GIORGI A. - CALZATI M.,
Appunti di esercizio delle reti elettriche di energia,
pp. 144 - 66 ill. - L. 16.000

LENZI M.,
Introduzione ai sistemi digitali a microprocessore,
pp. XII-352 - 179 ill. b.n., 8 tavole - L. 53.000



MIGLIO R.,
Appunti di elettrotecnica.
Parte II. Teoria e guida alle esercitazioni. Regime comunque variabile. Regime alternativo sinusoidale monofase e trifase.
pp. 170 - L. 20.000
Parte III. Macchine elettriche rotanti,
pp. 122 - 81 ill. b.n. - L. 16.000

N

MODONESI G.,
La professione di Ingegnere.

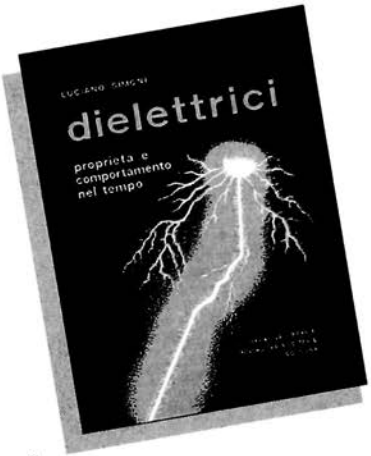
L'ordinamento della categoria, l'esercizio della professione, i diritti e i doveri del professionista,
pp. 384 - L. 50.000



SIMONI L.,
Caratteristiche e tecnologie dei condensatori,
pp. 56 - 12 ill. - L. 7.000

SIMONI L.,
Cavi per il trasporto dell'energia elettrica,
pp. 128 - 39 ill. - 1 t.f.t. - L. 15.000

SIMONI L.,
Dielettrici. Proprietà e comportamento nel tempo,
XXII-236 - 64 ill. - 1 t.f.t. - L. 32.000



SIMONI L.,
Foundamentals of endurance of electrical insulating materials,
pp. 120 - 42 ill. - L. 17.000

SIMONI L.,
Lezioni di tecnologie elettriche. Materiali conduttori e magnetici,
pp. 58 - 18 ill. - L. 7.000

SIMONI L.,
Lezioni di tecnologie elettriche. Tecnologie generali,
pp. XII-204 - 145 ill. - L. 25.000

STROCCHI P.M.,
Tecnologia dei materiali nucleari,
pp. 316 - 118 ill. - L. 35.000

TROMBETTI T.,
Introduzione alla cinetica neutronica,
pp. 128 - L. 15.000

ZANOBETTI D.- Pezzi M.,
Lezioni di impianti elettrici,
pp. 408 - 157 ill. - L. 50.000

ZURLA O.,
Appunti di macchine utensili. Seconda edizione,
pp. 212 - L. 27.000



C

CONTI G.,
Città e territori della cultura,
pp. 272 - L. 30.000

CUPPINI G. - MINGOZZI A. - RIGUZZI G. - SELVA F.,
Riferimenti normativi per la progettazione ambientale. Complessi insediativi residenziali.
pp. 132 - L. 16.000



DELL'ACQUA A. - BAROZZI BATTAGLIA A. - BIOLCATI RINALDI M. - DEGLI ESPOSTI V.,
Modelli di organizzazione spaziale e tipologie edilizie per la scuola della prima infanzia,
pp. 116 - 73 ill. b.n. - L. 17.000

FREGNA R.,
La pietrificazione del denaro. Studi sulla proprietà urbana tra XVI e XVII secolo,
pp. 216 - 154 ill. b.n. - L. 28.000

FREGNA R.,
Le città di utopia.
Presentazione di L. Lugli, figure di A. Petti,
pp. 380 - 16 t.f.t. - L. 45.000

C

MONTI C. - PRATELLI A. - RIGUZZI G. - SECONDINI P.
Analisi e pianificazione del territorio rurale,
pp. 168 - L. 21.000



C

MONTI C. - RONZANI G.,
Elementi di urbanistica,
pp. 188+8 - L. 25.000

NUTI F.,
Tecnologie industrializzate e tipi edilizi per la residenza,
pp. 200 - L. 25.000

C N

PRADERIO G. (a cura di)
Innovazione e progetto
pp. 224 - 13 ill. b.n. - L. 25.000

PRADERIO G. (a cura di),
Piano programma per lo sviluppo territoriale dell'Ateneo 1990-2000,
pp. 236 - 77 ill. - L. 45.000



C N

RONZANI G.,
Compatibilità ambientale e piani urbanistici,
pp. 178 - L. 23.000

C

RONZANI G., (a cura di),
Analisi e progettazione ambientale nel territorio costiero ravennate.
Testi di M. Altieri, A. Roncuzzi, G. Ronzani,
Introduzione di C. Monti,
pp. 140 - L. 18.000

ROSINI R.,
La metropoli diffusiva,
pp. VIII-324 - 3 t.f.t. - L. 39.000

TAGLIAVENTI I.,
L'organismo architettonico
Lezioni di architettura tecnica (con Elementi e Complementi). Vol. 1, Sistemi e strutture,
pp. 508 - L. 60.000



Architettura del Barroccio da Vignola concernente i cinque Ordini delineati e arricchiti..
(Venezia MDCCLXXXVII). Presentazione di A. Pratelli,
pp. XLII-74 - L. 22.000



I confini perduti.
Inventario dei centri storici: analisi e metodo, 18 ibc dossier. Catalogo della mostra, Bologna, novembre/dicembre 1983, pp. 176 - 170 ill. b.n. - L. 30.000

BAROZZI G.C.,
Istituzioni di matematica,
pp. XVI-568 - 238 ill. - L. 60.000



FAVINI A. - LANCONELLI E. - OBRECHT E. - PARENTI C.,
Esercizi di analisi matematica.
Vol. I - Integrazione,
pp. XXII-118 - L. 20.000
Vol. II - Equazioni differenziali,
pp. XXVIII-158 - L. 25.000
Vol. III - Differenziabilità, massimi e minimi, integrali curvilinei e l - forme differenziali,
pp. XXVI-114 - L. 20.000
Vol. IV - R^n. continuità,
pp. 56 - L. 8.000
Vol. V - Funzioni olomorfe,
pp. LIV-78 - L. 20.000

PELLACANI G. - PETTINI G. - VETTORI C.,
Esercizi di matematica,
pp. 428 - L. 50.000

N

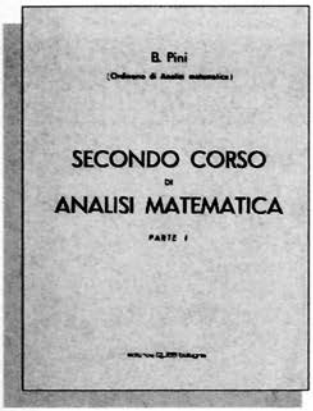
PELLACANI G. - PETTINI G. - VETTORI C.,
Istituzioni di matematica.
Seconda edizione,
pp. XIV-516 - 157 ill. - L. 58.000



PINI B.,
Primo corso di analisi matematica,
pp. 624 - 100 ill. - L. 70.000

PINI B.,
Secondo corso di analisi matematica.

Volume primo
pp. 378 - 80 ill. - L. 45.000
Volume secondo
pp. 442 - 94 ill. - L. 50.000



BRINI D. - VENTURA A.,
Introduzione allo studio della fisica.
Questioni di metodo e di linguaggio,
pp. 208 - 89 ill. - L. 23.000

N

BRUNO M. - D'AGOSTINO M. - FIANDRI M.L.,
Esercizi di Fisica I. Calcolo vettoriale,cinematica, dinamica e termodinamica. Seconda ediz.

pp. 520 - 147 ill. - L. 55.000



MISSIROLI G.,
Appunti di esperimentazione di fisica.
Parte I: Correnti continue e alternate,
pp. IV-64 - 73 ill. - L. 10.000

PARMA S.,
Introduzione matematica al corso di fondamenti di meccanica classica,
pp. 60 - 11 ill. - L. 6.000

C

SERRA R. - ANDRETTA M. - ZANARINI G. - COMPIANI M.,
Introduzione alla fisica dei sistemi complessi.

L'approccio mesoscopico allo studio di fluttuazioni, non linearità e auto-organizzazione,
pp. VIII-244 - L. 30.000



C

SERRA R. - ZANARINI G.,
Tra ordine e caos. Auto-organizzazione e imprevedibilità nei sistemi complessi,
pp. 184 - L. 23.000

VERONESI P. - FUSCHINI E.,
Fondamenti di meccanica classica,

pp. XXIV-500 - 156 ill. - L. 57.000



C

ZANARINI G.,
Microelettronica. Introduzione alla fisica dei circuiti integrati,
pp. 256 - L. 30.000

VIANELLO G.,
Cartografia e fotointerpretazione,
pp. X-126 - 71 tavole - L. 18.000

CAMPANINI C.,
Lezioni di ragioneria generale ed applicata.
Costi di produzione e contabilità direzionale,
pp. 268 - L. 38.000

DEMÈ E.,
Pianificazione e programmazione nelle organizzazioni.
Obiettivi - Strategie - Processo - Tecniche,
pp. 484 - 93 ill. - L. 55.000

GIACOMAZZI F.,
Pianificazione ed esercizio dei processi industriali,
pp. 508 - 311 ill. - L. 50.000

GIACOMAZZI F. - MACRÌ D.,
Analisi dei costi e previsione finanziaria,

pp. 64 - L. 8.000



MARZOCCHI G.L.,
Strategie d'impresa e tecnologie dell'informazione,
pp. 234 - L. 30.000

MATACENA A.,
Il sistema informativo obbligatorio delle aziende speciali consorziali.
Le aziende consorziali di trasporto,
pp. 228 - L. 28.000

COLLANE



Editrice
CLUEB
Bologna

CITTÀ PER LA CULTURA

PANCALDI G. (a cura di), Atti del Convegno *"Maurizio Bufalini" medicina, scienza e filosofia. Cesena 13-14 Novembre 1987*

CONTI G., *Città e territori della cultura*

CLASSIFICAZIONE, CARTOGRAFIA E CONSERVAZIONE DEL SUOLO

diretta da GILMO VIANELLO

CIAVATTA C. - VIANELLO G., *Bilancio idrico dei suoli. Applicazioni tassonomiche climatiche e cartografiche*

VIANELLO G., *Cartografia e fotointerpre - tazione*

COLLANA DI SCIENZA DELLA COMPLESSITÀ

a cura di ROBERTO SERRA e GIANNI ZANARINI

SERRA R. - ANDRETTA M. - ZANARINI G. - COMPIANI M., *Introduzione alla fisica dei sistemi complessi. L'approccio mesoscopico allo studio di fluttuazioni, non-linearità e autoorganizzazione*

SERRA R. - ZANARINI G., *Tra ordine e caos. Autoorganizzazione e imprevedibilità nei sistemi complessi*

ZANARINI G., *Microelettronica. Introduzione alla fisica dei circuiti integrati*

DOCUMENTI E RICERCHE. ISTITUTO DI ARCHITETTURA E URBANISTICA. FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Collana diretta da IVO TAGLIAVENTI

MONTI C. - PRATELLI A. - RIGUZZI G. - SECONDINI P., *Analisi e pianificazione del territorio rurale*

RONZANI G., *Compatibilità ambientale e piani urbanistici*

RAPPORTI DI RICERCA. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA. ISTITUTO DI ARCHITETTURA ED URBANISTICA. LABORATORIO DI RICERCA SEZIONE TERRITORIO

ARCURI F. (a cura di), *Tecniche di analisi della struttura industriale*

MONTI C., *Schede di tecnica urbanistica*

RONZANI G. (a cura di), *Analisi e progettazione ambientale nel territorio costiero ravennate*

MONTI C. - RONZANI G., *Elementi di urbanistica*

PRADERIO G. (a cura di), *Innovazione e progetto*

LIBRI & LIBRI



Editrice
CLUEB
Bologna

ARMAROLI M. (a cura di),
Le Cere Anatomiche Bolognesi del settecento
APPENDICE A - **Il ferro chirurgico nella raccolta di Vittorio Putti di Bologna**
APPENDICE B - **Libri di medicina e di biologia a Bologna nei secoli XVI-XVIII.**
Catalogo della mostra, Bologna settembre - novembre 1981,
pp. 132 - 169 ill. - L. 27.000

BARUZZI M. - MONTANARI M. (a cura di),
Porci e porcari nel medioevo.
Paesaggio. Economia. Alimentazione.
Catalogo della mostra, San Martino di Bentivoglio, giugno 1981,
pp. 80 - 58 ill. b.n. - 14 ill. col. - L. 15.000



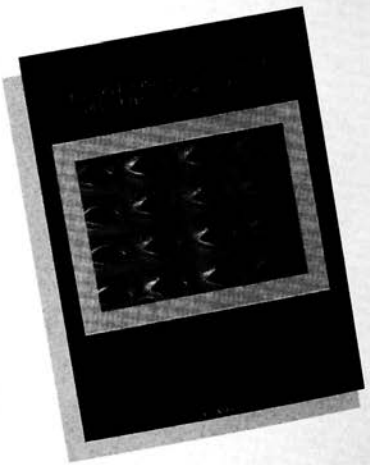
BERGONZINI L. - TASSINARI F. (a cura di),
Democrazia Comunale e giustizia tributaria. Scritti polemici di Paolo Fortunati,
pp. XXVI-206 - L. 25.000

BOLLETTI G.G.,
Dell'Origine e dei Progressi dell'Istituto delle Scienze di Bologna, (Bologna, 1751).
Nota di M. Bortolotti,
pp. XXXII-128 - 4 t.f.t. - L. 23.000

BOTTA C.,
Per questi dilettosi monti. Romanzo inedito a cura di L. Badini Confalonieri con una premessa di A. Battistini,
pp. 228 - 8 ill. col. - L. 20.000

BROCCOLI A.,
Il bello della festa. Storie di donne nel mondo contadino. Nota introduttiva di M. Callari Galli, postfazione di F. Foresti,
pp. XVIII-278 - 16 ill. b.n. - L. 32.000

CALANCHI E.,
La collezione degli strumenti del museo di Antropologia,
pp. 128 - 106 ill. b.n. e colori - L. 25.000



CAMPAGNOLI R. - HERSANT Y. (a cura di),
Oulipo. La letteratura potenziale
(Creazioni Ri-creazioni Ricreazioni).
Edizione italiana,
pp. 320 - L. 28.000

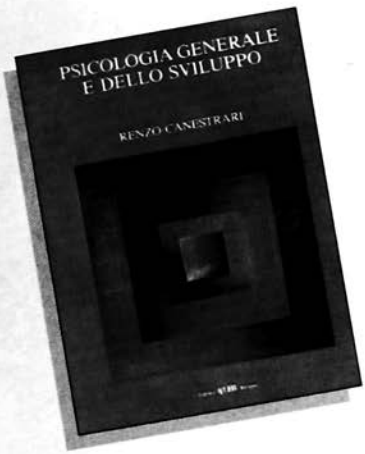
CANE G.,
Facciamo che eravamo negri.

Il jazz e il suo blackground,
pp. 344 - L. 40.000



CANESTRARI R.,
Psicologia generale e dello sviluppo,

pp. XX-674 - 219 ill. - L. 100.000



N

CAPUCCI L. - DUGATO M. - FRANCHI SCARSELLINI F. - GUBELLINI D. (a cura di),
Cercar lavoro. Guida all'orientamento professionale post-universitario. Economia e Commercio - Giurisprudenza - Scienze Politiche,
pp. 112 - L. 18.000

CAPUTO G. (a cura di),
Discorso di Giosuè Carducci per l'Ottavo Centenario. Present. di F. Roversi Monaco,
pp. 164 - L. 22.000

CAZZOLA P.,
Russia-Bologna. Tre secoli di rapporti, incontri e viaggi,
pp. 188 - L. 25.000

CENCETTI G.,
Lo studio di Bologna. Aspetti, momenti e problemi (1935-1970). A cura di R. Ferrara, G. Orlandelli, A. Vasina,
pp. X-418 - L. 66.000

CRISCUOLO L. - GERACI G. (a cura di),
Egitto e storia antica dall'ellenismo all'età araba.

Bilancio di confronto. Atti del Colloquio Internazionale, Bologna, 31 agosto - 2 settembre 1987,
pp. X-718 - 15 ill. b.n. - L. 150.000



D'APRILE V.,
Ragli d'asino non arrivano in cielo.
Racconti di vita contadina, presentazione di J. Lussu, postfazione di F. Foresti,
pp. X-170 - 16 t.f.t. - L. 22.000

DE PAZ A.,
L'occhio della modernità. Pittura e fotografia dalle origini alle avanguardie storiche.
Prefazione di G.C. Argan. Seconda Edizione,
pp. X-430 - 230 ill. b.n. - L. 70.000

DE ZORZI G. - SUT S.,
Tipici tipi tipetti tipini tiponi tipacci allo sportello bancario,
pp. 108 - L. 17.000



FORESTI F. (a cura di),
Le ruote del pane.
I mulini ad acqua del Castiglionese.
Presentazione di A. Emiliani,
pp. 48 - 47 ill. b.n. - L. 15.000

FORESTI F. - PICCHI A. - TROMBETTI A.L.,
Storie dell'antico studio di Bologna,
pp. XXII-298 - L. 32.000



GIARDINA N.,
Il «canzoniere» della balla bolognese.
Canti Goliardici dal 1848 al 1960
- con due audiocassette dei canti in omaggio -
pp. 80 - L. 25.000



GOVI G.,
Luigi Ferdinando Marsili. Micologo Bolognese (1658-1730),
pp. 52 - 100 ill. col. - L. 6.000

GRAF A.,
Il riscatto. A cura di A.M. Cavalli Pasini,
pp. 328 - L. 30.000

N

GUAITOLI M.T. - SASSATELLI G. (a cura di),
L'Alma Mater e l'antico. Scavi dell'Istituto di Archeologia. Mostra fotografica,
pp. 104 - 47 ill. b.n. L. 20.000



GUIDOTTI P.,
Dall'appennino all'oltralpe sulle tracce della religiosità popolare,
pp. 144 - 32 ill. b.n., 14 col. - L. 28.000

N

GUIDOTTI P.,
Strade transappenniniche bolognesi dal Millecento al primo Novecento.
Porrettana, Futa, Setta,
pp. XX-318 - 92 ill. b.n. e col. - L. 45.000



GUIDOTTI P.,
Il Camugnanese dal XII al XX secolo.
Capitoli per una storia,
pp. 350 - 109 ill. - L. 50.000

N

MALPEZZI P. - PENSATO R. (a cura di),
Libri che passione!
Illustrazioni di Zap,
pp. 228 - 8 ill. - L. 25.000



MONTANARI V. - ROVERSI G. (a cura di),
L'Italia a Bologna - Lettere di Matilde Serao per le feste del 1888,
pp. 100 - 27 ill. b.n. - L. 22.000

N

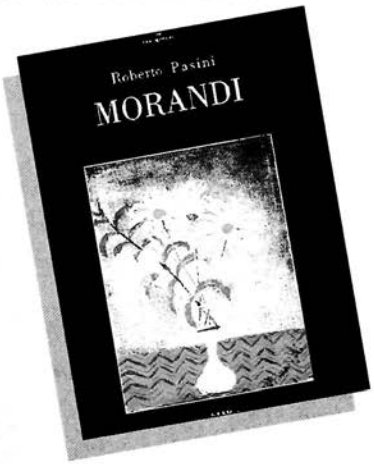
MORIGI GOVI C. - CURTO S. - PERNIGOTTI S. (a cura di),
L'Egitto fuori dell'Egitto. Dalla riscoperta all'egittologia. Atti del Convegno Internazionale, Bologna 26-29 marzo 1990,
pp. X-462 - 100 ill. b.n. - L. 90.000

N

NIMIS P.L. - PINNA D. - SALVADORI O.,
Licheni e conservazione dei monumenti.
Fotografie di F. Ceni,
pp. 166 - 104 ill. col. - L. 25.000

PASCOLI G.,
Alceo. Tesi per la laurea. A cura di G. Caputo, presentazione di F. Roversi Monaco,
pp. 80 - L. 17.000

PASINI R.,
Morandi,
pp. 168 - 88 ill. f.t. - L. 25.000



PRODI G.,
Teoria e metodo in biologia e medicina,
pp. 424 - L. 45.000

SASSATELLI G. - BRIZZOLARA A.M. (a cura di),
I nuovi scavi dell'Università di Bologna nella città Etrusca di Marzabotto.
Mostra Fotografica,
pp. 48 - 15 ill. b.n., 16 ill. colori - L. 10.000

ZANARINI G.,
Dialogo con Galileo,
pp. 156 - L. 20.000

Alma Mater Librorum. Nove secoli di editoria bolognese per l'Università,
Pubblicato in collaborazione con Il Mulino, Nuova Alfa Editoriale, Zanichelli
pp. 348 - ill. b.n. e col. - L. 40.000

Alma Mater Studiorum. La presenza femminile dal XVIII al XX secolo. Ricerche sul rapporto Donna/Cultura Universitaria nell'Ateneo Bolognese,
pp. 260 - 44 ill. b.n. - 9 col. - L. 45.000

Ars obstetricia bononiensis. Catalogo ed inventario del Museo Ostetrico Giovan Antonio Galli, - con la videocassetta del museo in omaggio
pp. 108 - 225 ill. b.n., 12 col. - L. 65.000

I materiali dell'Istituto delle Scienze.
Catalogo della mostra, Bologna, settembre/novembre 1979,
pp. 266 - 175 ill. b.n. - L. 38.000



RIVISTE





Editrice
CLUEB
Bologna

La Difesa delle Piante.

Rivista di fitoiatria, fitofarmacia e diserbo.
Trimestrale.
Direttore: Sergio Foschi.

Rivista di Sessuologia.

Trimestrale.
Direttore: Vincenzo Cappelletti.

RID. Rivista Italiana di Dialettologia.

Scuola, società territorio.
Annuale.
Coordinatore editoriale: Fabio Foresti.

Rivista di Merceologia.

Trimestrale.
Direttore: Mario Giaccio.

Statistica.

Trimestrale.
Direttore: Italo Scardovi.

Cinema & Cinema.

Quadrimestrale.
Direzione: Antonio Costa, Giovanna Grignaffini, Leonardo Quaresima.

La Professione Sociale.

Rivista monografica del Ce.S.diS.S. Bologna.
Semestrale.
Direttore: Edda Samory.

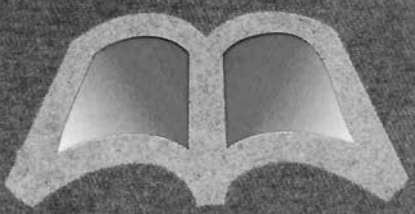
Schede Umanistiche.

Rivista dell'Archivio Umanistico Rinascimentale Bolognese.
Semestrale.
Direttore: Fulvio Pezzarossa.

Storia e problemi contemporanei.

Semestrale.
Direttore: Paolo Sorcinelli.

Editrice CLUEB Bologna
INGEGNERIA



I Titoli CLUEB

sono disponibili nel punto vendita di
Piazza G. Verdi, 2/A,
nelle librerie della città ed in tutte le
principali librerie d' Italia.

CLUEB
Uffici: Via Marsala, 24 Bologna
Tel. 051 / 22.07.36 - 22.47.80
Fax 051 / 23.77.58

Libreria: Piazza G. Verdi, 2/A
Bologna
Tel. 051 / 22.12.88

Sono disponibili *tesi di laurea* di carattere teorico o sperimentale, su temi di: fondamenti di termodinamica, analisi termodinamiche dei processi tecnologici, risparmi energetici, termofluidodinamica.

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.

5843
IMPIANTI ELETTRICI
Docente: **Mario Pezzi** prof. ass.

Il corso si propone di dare le basi necessarie per affrontare alcuni dei problemi più importanti connessi con la distribuzione sia pubblica che industriale, ma tratta anche argomenti di carattere generale riguardanti il trasporto e la utilizzazione dell'energia elettrica.

Programma

Distribuzione
Distribuzione primaria e secondaria — Reti di distribuzione di tipo radiale, ad anello, a maglia, in banking — Distribuzione dei complessi industriali e per usi civili. Cabine.

Linee elettriche
Linee aeree e in cavo — Costanti primarie — Equazioni della propagazione — Costante di propagazione — Impedenza caratteristica — Le linee come quadripoli — Costanti ausiliarie — Studio delle linee lunghe — Diagramma di Baum e Perrine — Diagrammi circolari — Studio delle linee corte — Espressioni di calcolo per la sezione dei conduttori — Transitorio termico — Esempi di calcolo di linee.

Reti elettriche
Grandezze in valore relativo — Analisi nodale — Il problema di «load flow» — Vari metodi di calcolo dei flussi di potenza.

Manovra e protezione
Teoria dell'arco elettrico — Interruzione in c.c. e in c.a.; Interruttori — Sezionatori — Sezionatori sotto carico — Fusibili.

Impianti di terra
Curva di pericolosità della corrente — Tensione di passo e di contatto — Relè differenziali — Normativa sulla messa a terra — Dispersori — Impianti di terra negli edifici civili e industriali e nelle cabine.

Illuminotecnica
Elementi di fotometria — Sorgenti luminose e apparecchi illuminanti — Criteri di calcolo di illuminazione di ambienti interni.

Testi consigliati:

ZANOBETTI, PEZZI, *Lezioni di impianti elettrici*, CLUEB.
FALETTI, *Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica*, Patron.
ILICETO-ROSATI, *Impianti di distribuzione dell'energia elettrica*, Siderea, Roma.

Sono previste *esercitazioni* differenziate per allievi Elettrotecnici ed Elettronici.

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: **Benito Brunelli** prof. ord.

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.

5696
MATERIALI SPECIALI PER L'ELETTROTECNICA
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 pounch-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; caratteristiche esterne; caratteristiche dinamiche; limiti di: potenza, tensione, corrente; parametri dei transistori, ciruciti 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.*

8073-1385
MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (Elettrici, Chimici, Minerari)
Docente: **Giorgio Dalpiaz** ricerc. (inc.)

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

Prima parte: *Definizioni generali.* Macchina e meccanismo, coppie cinematiche, gradi di libertà, rendimento di una macchina.

Seconda parte: *Tribologia e lubrificazione.* 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. 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. Usura abrasiva, usura adesiva, fatica superficiale. La lubrificazione idrodinamica: equazione di Reynolds; cuscinetti Michell e Kingsbury; coppia rotoidale lubrificata; dimensionamento e verifica di un cuscinetto. Cenni sulla lubrificazione elastoidrodinamica e sulla lubrificazione fluidostatica.

Terza parte: *Teoria dei meccanismi.* 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. 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. 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.

Quarta parte: *Dinamica delle macchine e meccanica delle vibrazioni.* Generalità: 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. 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. Vibrazioni meccaniche: 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. Dina-

mica dei rotori: 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.

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.

2126
MISURE ELETTRONICHE
Docente: **Domenico Mirri** 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.

5697
MISURE E REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTI ELETTRICI
Docente: **Renato Sasdelli** prof. ass.

Finalità: il corso intende approfondire la problematica relativa alla esecuzione di misure e prove su macchine elettriche, impianti elettrici e componenti di impianto; a tal fine è prevista anche una adeguata parte sperimentale.

Programma

Metrologia.

Richiami di metrologia generale. Unità e campioni delle grandezze fondamentali nel Sistema Internazionale. Elementi di metrologia elettrica.

Caratteristiche metrologiche dei dispositivi di misura.

Misure di grandezze non elettriche.

Misure di grandezze meccaniche: velocità e accelerazione; coppia e potenza meccanica; spostamento.

Misure di temperatura: SIT e principi di funzionamento dei termometri campione. Metodi e strumenti per la caratterizzazione del microclima in ambienti confinati.

Misure di rumore: trasduttori; fonometri; metodi per la caratterizzazione fonometrica dei macchinari.

Misure di illuminamento.

Misure di impedenze

Componenti passivi di precisione e loro reti equivalenti. Influenza dei parametri indesiderati nei metodi di ponte. Ponti per misure a tre morsetti.

Misure per la caratterizzazione delle macchine elettriche

Problemi generali: tipi di prove; localizzazione e valutazione delle perdite nelle maccine elettriche; misura del rendimento; definizione e misura delle potenze in regime non sinusoidale.

Misure sui trasformatori: misura del rapporto di trasformazione e determinazione della polarità; misura delle perdite; determinazione dei parametri del circuito equivalente; misura dell'impedenza alle correnti di sequenza zero; prove sugli autotrasformatori.

Misure sui motori asincroni: misura delle perdite e loro separazione; circuiti equivalenti e determinazione dei parametri; metodi per il rilievo, diretto o semi-diretto, della caratteristica meccanica.

Misure sui motori monofase a condensatore: misure per la determinazione dei parametri dei circuiti equivalenti.

Misure sulle macchine sincrone: determinazione delle curve caratteristiche; determinazione delle reattanze; valutazione delle perdite.

Misure sulle macchine in corrente continua: rilievo delle curve caratteristiche; determinazione del rendimento; misura dei parametri caratteristici nel funzionamento transitorio.

Prove termiche.

Natura e scopo delle prove. Potenza nominale e tipo di servizio di una macchina elettrica. Misura della temperatura dell'ambiente e delle parti delle macchine. Valutazioni convenzionali della costante di tempo termica e della durata delle prove.

Metodi per la realizzazione delle condizioni di prova. Prove a circolazione di energia. Prova in corto circuito per i trasformatori in olio.

Valutazione dell'esito delle prove.

Prove di isolamento.

Natura e scopo delle prove. Schema generale di un impianto per prove di isolamento e requisiti dei componenti. Prove con tensioni alternate e con tensioni a impulso.

Misure di scariche parziali.

Parametri caratteristici delle scariche parziali. Circuiti di rilevazione e misura. Identificazione e localizzazione delle scariche come controllo tecnologico su trasformatori e condensatori.

Collaudo degli impianti elettrici.

Misura della resistenza di isolamento. Misura delle cadute di tensione.

Verifica della corretta scelta e installazione delle apparecchiature per la protezione dai contatti diretti.

Verifica della corretta scelta e installazione di apparecchiature a diapositivi per la protezione dai contatti indiretti senza interruzione automatica dell'alimentazione.

Verifica della corretta scelta e installazione di dispositivi per la protezione dai contatti indiretti mediante interruzione automatica dell'alimentazione.

Limiti di affidabilità degli interruttori differenziali nella protezione dei contatti sia diretti sia indiretti.

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. Verifiche sul dimensionamento e l'installazione dei conduttori di protezione e di terra.

Verifica della corretta scelta e installazione dei circuiti di segnalazione e comando.

Verifica della corretta scelta e installazione dei dispositivi di protezione contro le sovracorrenti.

Impianti per luoghi con rischio di esplosione o di incendio: criteri generali di classificazione dei centri di pericolo e dei luoghi AD; tipi di impianti elettrici a sicurezza.

Misure e prove sui componenti d'impianto.

Ponti per misure di capacità in alta tensione.

Propedeuticità consigliate: Misure elettriche, Macchine elettriche, Impianti elettrici.

Testi consigliati:

Verranno forniti appunti preparati dal docente ed altri ausili didattici da fotocopiare.

7948

PRINCIPI DI INGEGNERIA ELETTRICA (Elettrotecnici 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 apparec-

chiature 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 Elettrotecnica 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 camo 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

Cenno sulle equazioni d'onda non omogenee e sui potenziali ritardati. 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.

Elettrodinamica quasi-stazionaria

Condizioni per la validità dell'approssimazione quasi-stazionaria. Passaggio dalla teo-

ria dei campi alla teoria dei circuiti: legge di Ohm generalizzata, legge delle correnti e legge delle tensioni per circuiti filiformi. Circuiti a costanti concentrate.

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.

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 ELETTRICI

Docente: **Antonio Motori** ricerc. (inc.)

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 compositi impiegati nell'Ingegneria elettrica. Proprietà generali.

Materiali monocristallini, policristallini e amorfi. Metalli e leghe metalliche. Ceramici. 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.

Cenno 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 tec-

nica. 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.*, *Struttua 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.

4153
TECNICA DELLE ALTE TENSIONI
Docente: **Gianni Pattini** prof. ass.

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 TRASPORTI
Docente: **Alessandro Orlandi** prof. ord

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Trasporti)

9269
TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO (per Elettrotecnici)
Docente: **Giovanni Marro** 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 campionati, elaborazioni digitali per la correzione della dinamica, stabilità in presenza di campionamento, controllo numerico di processi industriali.

2) Circuiti analogici lineari: amplificatori operazionali, amplificatori in alternata, amplificatori a chopper per strumentazione, amplificatori differenziali per strumentazione, circuiti di campionamento e tenuta. Circuiti analogici non lineari: comparatori, rettificatori di precisione, limitatori, rilevatori di picco, oscillatori sinusoidali, generatori di clock,

oscillatori controllati in tensione, convertitori tensione-frequenza e frequenza-tensione, moltiplicatori. Conversione analogico-digitale e digitale-analogica: sistemi ad approssimazioni successive, ad inseguimento e a doppia rampa.

3) Circuiti elettronici per l'automazione: richiami di reti logiche e cenno alle principali famiglie logiche integrate; elaborazione elettronica locale per misuratori a trasformatore differenziale, sincro e inductosyn; azionamenti elettronici di motori in c.c.; dispositivi di conteggio e visualizzazione, standard per la trasmissione dei segnali numerici ad unità di controllo locale.

4) Sistemi elettronici per l'automazione: architettura dei sistemi a microprocessore ed illustrazione dettagliata di un sistema a logica programmabile e di alcune applicazioni al controllo automatico di macchine utensili; realizzazione di un posizionatore di precisione comandato da un sistema a logica programmabile a sua volta collegato ad un elaboratore mediante sistema di trasmissione seriale o parallelo; cenno alla realizzazione di sistemi multiassi.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica I e II, Macchine elettriche, Elettronica applicata, Controlli Automatici.

Testi consigliati

Verranno forniti ausili didattici da fotocopiare.

1046
TECNOLOGIE ELETTRICHE
Docente: **Luciano Simoni** prof. ord.

Il corso si propone come scopo fondamentale di accostare gli allievi alla problematica del progetto e della realizzazione degli apparati elettrici, dal punto di vista soprattutto della scelta dei materiali più idonei e delle sollecitazioni ad essi applicabili.

Preminenza viene data allo studio dei materiali isolanti, di cui vengono analizzate e approfonditamente discusse le proprietà a breve termine e il comportamento a lungo termine. Gli allievi vengono messi al corrente dei più recenti sviluppi della ricerca scientifica e tecnologica in questo campo e vengono forniti loro gli strumenti per inserirsi in essa mediante lo svolgimento di tesi di laurea a carattere sperimentale.

Quindi, come esemplificazione degli argomenti trattati, si esaminano in dettaglio due importanti componenti degli impianti elettrici nei quali la tecnologia dei materiali isolanti assume una importanza particolare, e cioè i cavi per alta tensione e i condensatori di potenza.

Il corso si collega, a monte, con quello di Elettrotecnica I per la trattazione generale del campo elettrico negli isolanti e dell'elettromagnetismo e con il corso di Chimica-fisi ca dei materiali elettrici per ciò che concerne specifici aspetti dello studio dei materiali; a valle, con molti corsi di indirizzo specialmente degli orientamenti Tecnologie ed Impianti, soprat-

tutto con i corsi di Tecnica delle Alte Tensioni e di Tecnologie elettriche speciali, che per molte parti rappresentano un completamento di argomenti appena accennati o comunque non esauriti nel corso di Tecnologie elettriche.

Programma

Proprietà dei dielettrici: polarizzazione statica; conducibilità statica; rilassamento e perdite dielettriche; circuito equivalente ed equazioni di Debye; polarizzazione artificiale.

Ingegneria dei dielettrici: la scarica nei solidi; scarica per instabilità termica; rigidità dielettrica e sue grandezze di influenza; statistica della scarica ed effetto dimensionale; scariche parziali e treeing. Comportamento dei materiali a lungo termine. Degradazione termica e teoria della velocità di reazione. Prove di vita termica ed indice di temperatura. Prove di voltage endurance, convenzionali, a frequenza aumentata, di tipo statistico. Teoria statistica e teoria fenomenologica. Il coefficiente di Voltage Endurance. Prove basate sulla misura della rigidità dielettrica di provini invecchiati. Modelli di vita, con e senza soglia. Comportamento con sollecitazione combinata termica-elettrica. Superficie di vita. Approccio geometrico al multi-stress.

Cavi energia: progetto termico ed elettrico. Descrizione e tecnologia dei cavi in carta impregnata e dei cavi estrusi. Cavi per alta e altissima tensione.

Condensatori di potenza: criteri di progetto, descrizione e tecnologia dei condensatori in carta e olio, in film sintetico e misti.

Materiali magnetici. Proprietà generali e richiami teorici. Principali materiali ferromagnetici e loro caratteristiche. Lamierini al Si isotropi e a cristalli orientati. Tecnica costruttiva dei nuclei delle macchine elettriche. Magneti permanenti: proprietà generali e materiali usati. Criteri di progetto.

Le *dispense* del corso, in 5 parti, sono edite dalla Cooperativa Libraria Universitaria Editrice. Per le parti del corso in evoluzione vengono forniti articoli ed appunti.

9267
TECNOLOGIE ELETTRICHE (speciali)
Docente: **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.

2033
TEORIA DEI CIRCUITI
Docente: **Rinaldo Troili** prof. ord.

Il corso si propone come finalità lo studio dei circuiti statici ed in movimento, quale capitolo dell'Elettrotecnica ed a completamento dello studio dell'elettromagnetismo classico trattato nel corso di Elettrotecnica I.

Programma

Nozioni di matematica necessarie per lo studio dei circuiti elettrici (funzione impulsiva e funzione gradino, funzioni cisoidali, trasformate di Fourier e Laplace).

Circuiti a costanti concentrate: le leggi di Kirchhoff, elementi bipolari ed elementi a più terminali; definizione di porta; grafo di un circuito e sue proprietà topologiche.

Componenti bipolari dei circuiti elettrici:

a) componenti attivi (generatori indipendenti e generali pilotati);

b) componenti passivi (resistore, condensatore, induttore, circuito accoppiato a tre e quattro terminali, trasformatore a due avvolgimenti).

Analisi di circuiti puramente resistivi: metodi delle correnti di maglia e dei potenziali di nodo.

Analisi dei circuiti con memoria: Analisi nel dominio del tempo: risposta transitoria e

risposta permanente, stabilità delle reti. Analisi dei circuiti mediante le funzioni cisoidali e la trasformata di Laplace: risposta transitoria e risposta permanente, funzioni di rete, risposta all'impulso.

Teoremi delle reti: teorema delle potenze virtuali, bilancio energetico di una rete, teorema delle potenze reciproche, teoremi di Thevenin, Norton e Millman. Teorema del massimo trasferimento di potenza attiva.

Componenti a due porte: rappresentazione generale, impedenza a vuoto, ammettenza di corto circuito, matrici ibride, matrici di connessione; vari tipi di collegamento di componenti a due porte.

Sistema trifase: proprietà fondamentali, utilizzatore a stella ed a triangolo; potenze e relative misure, sistema trifase con neutro.

Testi consigliati:

Dispense fornite dal Docente.
BASILE, *Elettrotecnica*, IV volume, Pàtron, Bologna.
F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, Pitagora, Bologna.

Il corso viene integrato da *esercitazioni* sugli argomenti trattati.

L'*esame* consiste in una prova scritta e in un colloquio.

5751
TRAZIONE ELETTRICA E TERMICA
Docente: **Mario Matassa** prof. ass. (inc.)

Finalità del corso

Il corso si propone di fornire le nozioni basilari sui problemi relativi ai vari tipi di trazione, elettrica e termica, per quanto riguarda sia gli impianti fissi, sia i mezzi di trazione.

Programma

Generalità. Sviluppo della trazione elettrica e termica. Sistemi di trazione attualmente impiegati per impianti ferroviari, metropolitane, filobus e tram. Valutazione tecnico-economica della trazione elettrica e termica a confronto per i vari sistemi.

Meccanica della locomozione. Aderenza. Resistenze al moto. Caratteristica meccanica di un mezzo di trazione. Dinamica di marcia: problemi e soluzioni in particolare per le alte velocità.

Trazione elettrica. Motori a corrente ed a corrente alternata a collettore. Motori a corrente ondulata. Motori asincroni e sincroni. Motori lineari.

Regolazione classica e moderna (elettronica) dei vari tipi di motori. Principi di funzionamento del chopper e dell'inverter.

Frenatura elettrica, reostatica ed a recupero.

Cenni sui mezzi di trazione e sui relativi apparati.

Cenni sulla sostentazione magnetica.

Impianti fissi per la trazione elettrica. Linee di contatto: problemi elettrici e meccanici nella trasmissione e nella captazione della corrente.

Sottostazioni di alimentazione e di conversione.

Trazione termica. Cenni sulla trazione a vapore. Trazione diesel: caratteristiche costruttive e di funzionamento dei motori diesel utilizzati nella trazione ferroviaria.

Sistemi di trasmissione nella trazione diesel: meccanico, idraulico, idromeccanico, elettrico.

Veicolo elettrico ad accumulatori. Schemi di trazione e di frenatura. Caratteristiche delle batterie di accumulatori utilizzate per la trazione. Il problema dell'autonomia.

Testi consigliati:

A. ORLANDI, *Meccanica dei Trasporti*, Ed. Pitagora, Bologna.
F. PERTICAROLI, *Trazione elettrica*. Ed. Clup, Milano.

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 elettronica

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

5801
ANALISI DEI SISTEMI DELL'INGEGNERIA CHIMICA

Docente: **Gigliola Spadoni** prof. ass.

Finalità del corso

Il corso esamina problematiche tipiche della progettazione e gestione del sistema-impianto chimico. Particolare attenzione è dedicata alla simulazione ed ottimazione di processo ed all'analisi dei rischi come strumento per la costruzione di un impianto «sicuro».

Simulazione ed ottimizzazione di processo

La *simulazione* come strumento per progettazione e verifica d'impianto, analisi di sensitività e valutazione di alternative di processo.

Strategia di simulazione: scelta dei modelli degli apparati, schema a blocchi e grafo direzionato del processo, tecniche di decomposizione del grafo («partitioning» e «tearing»)

e metodi per l'accelerazione della convergenza numerica. *Metodi numerici per la modellistica di apparati*: algoritmi iterativi per sistemi di equazioni algebriche non lineari (Newton, Broyden, Marquardt, gradiente). Sintassi e regole per l'uso del simulatore di processo PROCESS: applicazioni ed esercitazioni pratiche.

Tecniche per l'ottenimento di configurazioni ottime di sezioni d'impianto. Ottimazione energetica di un processo: calcolo del massimo recupero termico tra correnti di processo con il metodo del pinch-point, tecniche per identificare la configurazione di una rete di scambiatori a massimo recupero e sue modifiche per ridurre al minimo il numero di scambiatori e la superficie globale di scambio, la ripartizione di correnti come strumento di flessibilità della rete, principi basilari per le modifiche migliorative di reti esistenti.

Criteri e metodi algoritmici per la scelta di sequenze ottime di apparati di separazione: considerazioni termodinamiche per la scelta dei tipi apparati, criteri euristici e albero delle sequenze per scegliere il processo ottimo tra le molteplici soluzioni possibili, le integrazioni termiche in colonne a multiplo effetto per il massimo recupero energetico tra correnti.

Quantificazione dei rischi dei processi chimici

Rischio: definizione e misure (indici: FAFR, IHI, ARD).

Identificazione degli eventi incidentali: con analisi storica di processi simili; con liste di controllo e con analisi di dettaglio del processo (studi di operabilità, FMEA).

Stima delle frequenze di accadimento degli eventi incidentali: concetti di affidabilità e probabilità di guasto di componenti d'impianto, alberi di guasto e alberi degli eventi e metodi per la loro quantificazione. Modi comuni di guasto. Affidabilità di sistemi complessi (ridondanze in stand-by, ...): catene markovviane.

Stima delle conseguenze degli eventi incidentali: calcolo di portate di efflusso di liquidi, vapori e fludi bifase derivanti da rotture accidentali; evaporazione da pozze. Modelli per incendi di jets e pozze, BLEVE e fireballs; per esplosioni confinate e non confinate (UVCE); per la dispersione di gas tossici e/o infiammabili (gas neutri e gas pesanti). Modelli di vulnerabilità dei soggetti esposti a radiazioni termiche, sovrapressioni, concentrazioni tossiche.

Principali sistemi di prevenzione e protezione.

Le principali misure di rischio d'area: rischio individuale, rischio sociale.

Applciazioni ed esercitazioni pratiche.

Testi consigliati:

G. Biardi, S. Pierucci, *L'analisi dei sistemi dell'ingegneria chimica*, CLUP, mIlano, 1974.

A.W. Westerberg et al., *Process Flowsheeting*, Cambridge University Press, 1979.

B. Linnhoff et al., *A User Guide on Process Intgegration for the Efficient Use of Energy*, The Institution of Chemcial Engineers, 1984.

E.J. Henley, J.D. Seader, *Equilibrium-Stage Separation Operations in Chemical Engineering*, John Wiley, NY 1981.

E.J. Henley, H. Kumamoto, *Reliability Engineering and Risk Assessment, Prentice Hall, NJ, 1981.*
G.L. Wells, *Safety in Process Plant Design*, John Wiley, NY 1981.
Centre for Chemical Process Safety of AIChE, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, NY 1989.

Esame: orale.

Propedeuticità consigliate: Principi di Ingegneria chimica II, Impianti chimici.

7939
ANALISI E SIMULAZIONE DEI PROCESSI CHIMICI
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 Kotchine generalizzato).

5.2. Equazioni di bilancio locale di materia, di quantità di moto e di energia (termica e meccanica).

5.3. Equazioni costitutive: per il tensore degli sforzi (fluidi ideali, fluidi newtoniani, cenni sui fluidi non-newtoniani e sui solidi elastici); per la densità di flusso di calore (legge di Fourier); per la densità di flusso di massa dei singoli componenti (legge di Fick, relazioni di Maxwell); per la velocità di generazione dell'energia interna (effetto Joule, irradiamento termico); elementi di termodinamica dei processi irreversibili; principi generali; diffusività di quantità dimoto, 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., *Trasport 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.

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;k 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 elettrodici; 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, 1992.
P. Manaresi, E. Marianucci, *Problemi di chimica per ingegneria*, ed. Esculapio, Bologna, 1992.

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).

10086
CHIMICA APPLICATA (per Chimici)
Docente: **Luciano Pentimalli** prof. ord.
(Corso integrato da «Elementi introduttivi di ingegneria chimica»)

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, ol 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: policondensazione, 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.

115

CHIMICA E TECNOLOGIA DEI PRODOTTI CERAMICI

Docente: **Carlo Palmonari** prof. ord.

Il corso si propone la formazione dell'ingegnere chimico per la tecnologia di produzione dei materiali ceramici tradizionali e sociali e per la conoscenza dei fenomeni ceramici e delle caratteristiche dei prodotti.

Programma

Introduzione al corso - La ceramica, i ceramici, definizioni e classificazioni.

Le materie prime - I silicati, la silice, le argille, le materie prime non silicatiche.

Le caratteristiche delle materie prime - Granulometria, stato colloidale, plasticità, scambio ionico, flocculazione e deflocculazione, plasticità e lavorabilità, fusibilità.

Le operazioni tecnologiche - Estrazione, purificazione, macinazione delle materie prime. Formatura: a secco, in plastico, a colo. Essicamento: parametri, impianti. Cottura: dia-

grammi di stato ceramici, caratteristiche dei forni, combustibili, infornatura, impianti, strumenti di controllo.

I prodotti - Laterizi, piastrelle, leganti, argille espanse, tubi, vetri e smalti, stoviglieria, sanitaria, artistici, tecnici, speciali elettrici e magnetici, refrattari, abrasivi.

Caratteristiche dei prodotti - Caratteristiche meccaniche, elettriche, magnetiche, dimensionali, termiche; le caratteristiche d'esercizio.

I metodi di analisi, controllo e misure - I metodi di stabilimento; i metodi di laboratorio.

L'inquinamento da industria ceramica - Gli scarichi idrici; le emissioni in atmosfera; l'ambiente di lavoro.

Testo consigliato:

G. ALIPRANDI, *Ceramurgia e Tecnologia ceramica.*

Esami orali.

Tesi di laurea con indirizzo applicativo; in particolare, con riferimento alla progettazione di particolari di impianti produttivi, allo studio di fenomeni chimico-fisici inerenti alla produzione ceramica, allo studio dell'origine degli inquinamenti e degli impianti di depurazione.

122
CHIMICA FISICA
Docente: **Paolo Chiorboli** prof. ord.

Il corso si propone di fornire all'allievo ingegnere chimico la preparazione di termodinamica e di cinetica chimica necessaria per i corsi successivi (Principi di ingegneria chimica, Impianti chimici, Chimica industriale) che trattano i processi ed i fenomeni che regolano il funzionamento degli apparati dell'industria chimica.

Programma

Parte I - Termodinamica chimica

a) Concetti generali di termodinamica fondamentale. Sistemi termodinamici. Grandezze termodinamiche intensive ed estensive. Grandezze molari e grandezze molari parziali. L'energia interna e il I principio. Lavoro e calore in gioco in una trasformazione. Entalpia. Capacità termiche molari. Effetto Joule-Thomson. Processi naturali e processi reversibili. Il II principio e l'entropia. Il III principio e l'entropia allo zero assoluto. Il principio dell'incremento dell'entropia nei sistemi isolati. Funzioni ausiliarie: energia libera e funzione lavoro. Condizioni di spontaneità di una trasformazione e di equilibrio.

b) Le equazioni fondamentali della termodinamica per sistemi aperti o per sistemi

chiusi a composizione variabile. Il potenziale chimico. Condizione di spontaneità di una reazione a T e P costanti e condizione di equilibrio.

c) Tipi di relazioni matematiche fra le grandezze termodinamiche ed espressioni delle grandezze stesse in funzione delle variabili di stato.

d) Sistemi gassosi. Gas ideali e non ideali. Equazioni di stato generali per i gas non ideali. Fattore di comprimibilità. Stati corrispondenti di gas diversi e metodi generalizzati di espressione e di calcolo del fattore di comprimibilità di un gas qualunque. Metodi di calcolo delle grandezze termodinamiche di un gas non ideale, con particolare riguardo all'uso di diagrammi generalizzati. Espressione della energia libera molare d'un gas ideale e sua estensione ai gas non ideali; fugacità ed attività d'un gas puro e scelte convenzionali degli stati standard. Metodi di calcolo della fugacità di un singolo gas, con particolare riferimento all'uso di diagrammi generalizzati. Sistemi gassosi a più componenti, ideali e non ideali; le leggi di Amagat e di Dalton e le loro conseguenze riguardo al calcolo delle grandezze termodinamiche di miscele gassose; condizioni pseudocritiche d'una miscela di gas.

e) Sistemi allo stato condensato. Sistemi a un solo componente: equilibri tra fasi diverse, equazione di Clapeyron, equazioni per la pressione di vapore di un liquido; effetto di un secondo gas sulla pressione di vapore di un liquido. Soluzioni: proprietà generali ed equazioni termodinamiche generali; soluzioni ideali e non ideali; attività dei componenti d'una soluzione non ideale; equilibri liquido-vapore e composizione delle due fasi in equilibrio; miscele azeotropiche; equilibri di congelamento, di solubilità, di ripartizione; equazioni per il calcolo dei coefficienti di attività in soluzioni binarie (eq. di Margules e di Van Laar); effetti termici nelle soluzioni non ideali; calori di soluzione e di diluizione.

f) Termodinamica della reazione chimica. Effetto termico di reazione e suo calcolo. Variazione d'energia libera e grado di avanzamento d'una reazione fino all'equilibrio. Reazioni termodinamicamente favorite e non favorite: «posizione» dell'equilibrio. Espressioni della costante di equilibrio per diversi tipi di reazioni, in sistemi omogenei ed eterogenei. Analisi dei fattori che possono influire sulla composizione di un sistema chimico a equilibrio raggiunto. Variazione della costante di equilibrio con la temperatura. Calcolo del rendimento massimo d'una reazione all'equilibrio. Reazioni simultanee: individuazione delle reazioni indipendenti e calcolo della composizione del sistema all'equilibrio.

g) L'equilibrio nei sistemi polifasici, deduzione della regola delle fasi e discussione del suo significato e delle sue applicazioni.

Parte II - Cinetica chimica.

Concetto di velocità di reazione e sue diverse espressioni. Equazioni cinetiche e loro determinazione sperimentale. Meccanismi di reazione: il complesso attivato. Processi cinetici elementari e compositi. Ordine e molecolarità. Teoria microscopica dei processi elementari in fase gassosa: collisioni molecolari reattive; energia di attivazione; fattore sterico; velocità di reazione e temperatura. Analisi dei principali tipi di reazioni complesse: reazioni parallele, consecutive, opposte (l'equilibrio chimico dal punto di vista cinetico); reazioni a catena. Reazioni in soluzione; effetti cinetici salini. Reazioni catalitiche; l'azione dei catalizzatori; reazioni catalitiche omogenee in fase gassosa e in soluzione; reazioni catalitiche eterogenee; isoterme di adsorbimento ed equazioni cinetiche.

Testi consigliati:

Per la termodinamica:

DENBIGH, *I principi dell'equilibrio chimico*, traduz. ital., Casa editrice Ambrosiana, Milano;

HOUGEN, WATSON, RAGATZ, *Principi dei processi chimici*, vol. I: Bilanci di materia e di energia: vol. II: Termodinamica - Traduz. ital.; Casa Ed. Ambrosiana, Milano.

Appunti delle lezioni del titolare del corso.

Per la cinetica:

LAIDLER, *Chemical Kinetics*, McGraw-Hill, New York.

CARRÀ-FORNI, *Aspetti cinetici della teoria del reattore chimico*, Tamburini, Milano.

Propedeuticità consigliata: Fisica tecnica (per la termodinamica generale).

Il corso è accompagnato da *esercitazioni* applicative inerenti a calcoli di termodinamica chimica.

Esami: discussione orale di argomenti svolti nel corso, preceduta da una prova scritta concernente calcoli del tipo di quelli svolti nelle esercitazioni.

Tesi di laurea di indirizzo teorico, concernenti l'approfondimento di alcuni temi di termodinamica chimica, in particolare sulle teorie dello stato liquido e delle soluzioni, o riguardanti la determinazione di proprietà termodinamiche con metodi sperimentali chimico-fisici.

137
CHIMICA INDUSTRIALE
Docente: **Carlo Stramigioli** prof. ass.

Nel corso sono 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 alcune nozioni di economia e 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. Cenni di economia. Investimenti. Costi. Redditività. *Struttura e caratteristiche dell'industria chimica.* Materie prime per l'industria chimica organica. Linee di lavorazione. Carbochimica e petrolchimica. Gigantismo, integrazione, localizzazione. Chimica primaria, derivata, secondaria. *Industria chimica italiana.* Struttura della produzione. *Termodinamica chimica.* Richiami. Attuabilità di una reazione chimica. Calcolo di gran-

dezze termodinamiche con il metodo dei contributi di gruppo. Lavoro minimo. *Processi di separazione*. Classificazione. Lavoro di separazione di una miscela. Analisi delle cause di perdita per una colonna di distillazione. Distillazione estrattiva ed azeotropica; adsorbimento. Legame tra proprietà molecolari e possibilità di impiego del processo. Criteri di scelta. Principali apparati per la separazione dei sistemi solido-gas e solido-liquido. *Sicurezza (cenni)*. Sicurezza nella progettazione; dispositivi di protezione; albero degli eventi e dei guasti. «Case histories».

Parte II. Gas di sintesi. Reforming con vapore acqueo di metano ed idrocarburi liquidi vaporizzabili. Ossidazione parziale di idrocarburi. Reforming secondario. Conversione del CO. Purificazione (anidride carbonica, composti solforati, CO residuo): principali procedimenti e processi.

Sintesi dell'ammoniaca. Termodinamica della reazione; catalizzatori; reattori. Compressione dei gas; separazione del prodotto. Principali processi. *Metanolo. Idrogeno. Idrodesolforazione di prodotti petroliferi. Frazionamento dell'aria*. Cicli termodinamici di liquefazione: Linde semplice, a doppia espansione, con refrigerante ausiliario; Claude. Analisi delle cause di perdita; efficienza dei cicli. Colonna doppia di Linde. Scambiatori di calore e rigeneratori. Purificazione dell'aria. Schemi completi di impianto. Recupero di gas rari. *Acido nitrico*. Ossidi di azoto: dagli elementi; per ossidazione parziale di ammoniaca. Ossidazione di NO; dimerizzazione; assorbimento. Processo Montedison a media pressione. Concentrazione dell'acido. Inquinamento da ossidi di azoto. *Fertilizzanti*. Classificazione e mercato. Granulazione e prilling. Nitrato d'ammonio. Urea: aspetti termodinamici e cinetici; processi Montedison e Snam. Progetti. *Acido solforico*. Anidride solforosa; conversione; assorbimento. Schema di impianto. Inquinamento da gas solforosi. *Soda Solvay*. Discussione termodinamica. Bicarbonato sodico: produzione, filtrazione, decomposizione. Recupero dell'ammoniaca. Schema completo di impianto. *Cloro/soda*. Serie elettrochimica degli elementi. Rendimenti. Elettrodi. Celle a diaframma, ad amalgama, a membrana. Celle de Nora e Hooker. Impieghi della soda elettrolitica e del carbonato sodico.

Materiale didattico

1) I. PASQUON, *Chimica Industriale I*, CLUP, Milano, 1970.
2) G. NATTA, I. PASQUON, *Principi della Chimica Industriale*, vol. I, Tamburini, Milano, 1966.
3) G. NATTA, I. PASQUON, P. CENTOLA, *Principî della chimica Industriale*, vol. II, CLUP, Milano, 1978.
4) Raccolta di schemi e diagramma illustrati a lezione.

Elenco di testi consigliati e programma dettagliato sono disponibili presso l'Istituto di Impianti Chimici.

Esame: prova scritta concernente bilanci materiale ed energetici, calcoli sull'equilibrio chimico omogeneo ed eterogeneo, valutazioni economiche; discussione orale di processi industriali.

Propedeuticità consigliate: Chimica organica, Principi di Ingegneria Chimica, Impianti Chimici, Impianti Chimici II.

Tesi di Laurea: Analisi di processi industriali. Confronto e valutazione di alternative di processo e/o impianto. Tesi sperimentali sulla modellazione di reattori agitati eterogenei.

148
CHIMICA ORGANICA
Docente: **Leonardo Marchetti** prof. ord.

Lo scopo del corso è di dare allo studente una conoscenza non mnemonica dei più importanti processi della Chimica Organica, affrontandoli da un punto di vista unificante quale è quello dello studio dei principali meccanismi di reazione caratteristici dei processi organici. Il corso ha anche lo scopo di approfondire concetti generali esposti nel corso di Chimica del primo anno, e di fornire materiali per i successivi corsi chimici del piano di studio della Sezione.

Programma

Richiami sul legame chimico e sulla struttura atomica e molecolare. L'isomeria in Chimica Organica. Nomenclatura e reazioni degli idrocarburi e delle più importanti famiglie di composti organici. Delocalizzazione elettronica e risonanza. Stereoisomeria (cenni). Effetti induttivi, di risonanza e sterici. I meccanismi delle reazioni organiche: principi generali. Reazioni di sostituzione ed eliminazione in serie alifatica. Reazioni di addizione ad alcheni ed alchini. Reazioni di aldeidi e chetoni, degli acidi carbossilici e dei loro derivati. Trasposizioni molecolari. Reazioni di sostituzione aromatiche. Carboidrati (cenni). Amminoacidi e peptidi (cenni). Composti eterociclici (cenni). Macromolecole e polimeri: concetti fondamentali.

Testo consigliato:

KICE-MARVELL, *Principi di Chimica Organica*, Ed. Piccin, Padova.

2030
COSTRUZIONI DI APPARECCHIATURE CHIMICHE
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 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 apparecchiature chimiche*, Ed. Esculapio, 1992.
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.

10086
ELEMENTI INTRODUTTIVI DI INGEGNERIA CHIMICA
Docente: **Francesco Santarelli** prof. ord. (inc.)
(Corso integrativo di «Chimica applicata»)

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 Approccio generale: ipotesi, variabili, equazioni.
1.2 I sottosistemi costituenti un impianto chimico: apparati discontinui, continui e semicontinui; apparati a stadi e a contatto continuo; variabili di processo (condizioni, rendimenti, potenzialità, ecc.: definizioni, unità di misura, relazioni, metodi di misura), stato delle correnti materiali ed energetiche (variabili chimico-fisiche e di flusso: definizioni, unità di misura, relazioni, metodi di misura); reperimento, elaborazione e rappresentazione dei dati; cenni sui principali apparati e processi industriali.
1.3 Rappresentazione schematica degli impianti chimici: schemi a blocchi (semplici e quantificati), grafi, matrici di vicinanza, 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.
2.3 Bilanci di materia per un apparato: varie forme dell'equazione; il termine generativo; cambiamento della base di bilancio; applicazioni.
2.3 Bilancio di quantità di moto per un apparato: equazione, applicazioni.
2.4 Bilancio d'energia per un apparato: varie forme; cambiamento della base di bilancio e delle unità di misura; equazioni semplificate; effetto termico delle reazioni chimiche; applicazioni.
2.5 Bilanci di materia e di entalpia per un impianto chimico in regime stazionario: numero di variabili indipendenti e specifica base, processi con ricicli; metodi di soluzione; applicazioni.

Testi consigliati:

a) per il corso:
F.P. FORABOSCHI, *Principi di Ingegneria Chimica*, UTET, Torino, 1973.

b) per le esercitazioni:

R.H. PERRY, D. GREEN, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 6th ed., McGraw-Hill, New York, 1984.

O.A. HOUGHE, K.M. WATSON, R.A. RAGATZ, *Principi dei Processi Chimici Vol. 1*, C.E.A. (ed. italiana), Milano, 1978.

D.M. HIMMELBLAU, *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*, 5th ed., Prentice-Hall International, London, 1989.

R.M. FELDER, R.W. ROUSSEAU, *Elementary Principles of Chemical Processes*, 2nd ed., J. Wiley & Sons, New York, 1986.

6793

ELETTROTECNICA (per Chimici e Minerari)

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.

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.
Interpolazione (metodo polinomiale, delle differenze divise, di Lagrange, dei minimi quadrati). Zeri di un polinomio. Zeri di una funzione (metodo di bisezione, delle tangenti, delle corde). Operazioni su matrici. Soluzioni di sistemi di equazioni lineari (metodo di Gauss, di Gauss-Jordan, di Crout, di Cholesky). Introduzione al problema dei grandi sistemi sparzi di equazioni (metodi di risoluzione ridotti, algoritmi di riordinamento delle equazioni, matrici a banda). Differenziazione numerica. Calcolo degli integrali (metodo dei trapezi, di Simpson, di Gauss). Integrazione di equazioni differenziali alle derivate ordinarie (metodo di Eulero, di Eulero modificato, di Runge-Kutta). Introduzione al problema dell'ottimizzazione.

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

501
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 liberà. 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 isotermiche e no. Criteri pratici per la determinazione del regime dominante il processo catalitico.

Reazioni gas-liquido: generalità e individuazione dei parametri caratteristici di calcolo di un reattore gas-liquido.

I modelli ideali di un reattore chimico e gli elementi fondamentali di calcolo in condizioni isotermiche 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 fluodinamici 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.

9042
IMPIANTI CHIMICI III
Docente: **Carlo Gostoli** prof. ass.

Il corso è particolarmente dedicato ai processi, apparati, impianti della Chimica Fine, delle Biotecnologie e di settori affini. Verranno inoltre analizzate le linee di tendenza

emergenti nel settore dell'impiantistica di processo, con particolare riferimento a nuovi processi di separazione.

Programma

1. Caratteristiche generali degli impianti di Chimica Fine, impianti continui e discontinui, criteri di progettazione e conduzione di impianti discontinui.

2. Processi di separazione non convenzionali.
2.1 Cenni su struttura e proprietà delle membrane, membrane omogenee, porose, asimmetriche, cariche.
2.2 Meccanismi di trasporto, polarizzazione di concentrazione.
2.3 Microfiltrazione, ultrafiltrazione, osmosi inversa, dialisi, elettrodialisi: principi, apparati, impianti, pretrattamenti, applicazioni.
2.4 Separazione di miscele gassose, stadio singolo e cascate.
2.5 Nuovi processi e prospettive di sviluppo: pervaporazione, distillazione a membrana, confronti con altri processi.

3. Impianti Biochimici.
3.1 Elementi propedeutici di biochimica e microbiologia: amminoacidi, proteine, acidi nucleici; organismi cellulari: struttura e classificazione.
3.2 Enzimi e cinetica enzimatica, isolamento e utilizzazione degli enzimi, tecniche di immobilizzazione.
3.3 Metabolismo ed energetica delle cellule, accrescimento, riproduzione, mutazioni, cinetiche cellulari.
3.4 Fermentatori continui e discontinui: aereazione e agitazione, scale-up, separazione dei prodotti. Reattori biologici a membrana.
3.5 Lavorazioni in ambiente sterile, sterilizzazione degli apparati, di gas, liquidi e solidi.
3.6 Conservazione degli alimenti e dei prodotti biologici, congelamento, liofilizzazione, pastorizzazione.
3.7 Processi biochimici nell'industria alimentare e farmaceutica, produzione di biomasse, cenni sugli impianti biologici per l'abbattimento degli inquinanti.

Propedeuticità consigliate: Principi di Ingegneria Chimica, Impianti Chimici.

Testi consigliati:

J.E. BAILEY, D. OLLIS, *Biochemical Engineering Fundamentals*, McGraw Hill, 1977.
S. AIBA, A.E. HUMPHREY, *Biochemical Engineering*, Academic Press, 1973.
H.C. VOGEL, *Fermentation and Biochemical Engineering Handbook*, Noyes Publications, Park Ridge (N.J.), 1983.

per gli argomenti propedeutici:
A.L. LEHNINGER, *Principi di Biochimica*, Zanichelli, 1983.

R.Y. STAINER, M. DOUDOROF, E.A. ALDELBERG, *Il mondo dei microorganismi*, Zanichelli, 1984.
Per la parte processi a membrana verranno indicate pubblicazioni specifiche durante le lezioni.

Esami: orali.
Tesi di laurea sperimentali: Processi a membrana.

663
MACCHINE (per Chimici e Minerari)
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 centifughe. 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 figoriferi*, Ed. Pitagora.

Propedeuticità consigliate: Fisica Tecnica.
L'*esame* è costituito da una prova orale.

4123
MATERIALI POLIMERICI
Docente: **Francesco Pilati** prof. ass.

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.

2021
METALLURGIA E METALLOGRAFIA
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 distruttivi, CnD. La scelta del CnD per il monitoraggio di strutture e materiali in esercizio.

La progettazione dis trutture e la scelta dei materiali. Conoscenza, fabbricazione e uso dei diagrammi di scelta. La garanzia della qualità nei materiali e nell'industria chimcia.

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.

814
PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA
Docente: **Francesco Santarelli** prof. ord.

(Sostituito a tutti gli effetti da «7939 Analisi e simulazione dei processi chimici»)

4641
PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II
Docente: **Franco P. Foraboschi** prof. ord.

Il corso ha per oggetto i fondamenti della progettazione generale degli impianti dell'indusmtria di processo.

1. *Introduzione.*
1.1. *Organizzazione del progetto di un impianto chimico*: 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.
1.2. *Cenni di ingegneria ambientale chimica*: ambiente; inquinamento ambientale; inquinanti; sorgenti inquinanti; il processo d'inquinamento; livelli d'intervento contro l'inquinamento; standard di qualità dell'ambiente; criteri generali d'intervento contro l'inquinamento dell'ambiente; analisi di sicurezza e valutazione d'impatto ambientale degli impianti chimici.

2. *Elementi di controllo e ottimizzazione degli impianti chimici.*
2.1. *Metodologie (richiami, integrazioni, applicazioni esemplificative)*: funzioni analitiche; metodi operazionali (trasformata di Fourier, trasformata di Laplace e z-trasformata); metodi statistici; ottimazione; metodologia dells perimentazione industriale.
2.2. *Modelli matematici dei sistemi*: funzioni di trasferimento (sistemi lineari stazionari); integrali di convoluzione (sistemi lineari non stazionari); identificazione; stabilità.
2.3. *Dinamica di sistemi semplici*: funzioni di trasferimento razionali; funzioni di trasferimento di un ritardo puro; esempi di calcolo della funzione di trasferimento; distribuzione dei tempi di permanenza di correnti materiali; stabilità (definizione, condizioni, criterio di Routh-Horwitz, cenni sul criterio di Hyquist e sui metodi di Liapunov); risposta a disturbi caratteristici (impulso, gradino, sinusoidale); risposta frequenziale (diagramma di Bode, Nyquist e Nichols).
2.4. *Il controllo dei processi*: il problema del controllo; principali schemi di controllo (a

catena aperta; a retroazione, in cascata, adattivo, inferenziale); controllo tutto-niente; sintesi dei sistemi di controllo a retroazione, lineari e stazionari; azioni elementari di controllo (proporzionale, integrale e derivativa); criterio di stabilità di Bode; criterio di Ziegler-Nichols di progetto dei controllori standard; cenni sul controllo di processo a molte variabili; applicazioni.

2.5. *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.

2.6. *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.

2.7. *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 Laplace); applicazioni.

3.3. *Trasporto dei fluidi*: tubazioni, accessori di linea; impianto di fognatura; impianti di aerazione e di aspirazione slocalizzata; 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 sovrapressione 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 controle 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 saturzione, 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.*
5.1. *Schemi di processo*: criteri generali; esempi.
5.2. *Schemi di marcia (diagramma P&I)*: criteri generali; esempi.
5.3. *Lay-out*: criteri generali; esempi.
5.4. *Assonometrie*: criteri generali; esempi.
5.5. *Fogli di specifica degli apparati*: criteri generali; esempi.
5.6. *Opere edili e servizi*: criteri generali; esempi.
5.7. *Regole pratiche di progettazione.*
5.8. *Esame critico di specifiche soluzioni impiantistiche.*

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.

10402
PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE
Docente: **Franco P. Foraboschi** prof. ord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria per l'ambiente e il territorio)

5802
PROPRIETA TERMODINAMICHE E DI TRASPORTO
Docente: **Giulio Cesare Sarti** prof. ord.

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, *Princìpi 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: Princìpi 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 fabbbricazione 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 materaili.

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 e Nucleari)
Docente: **Giovanni Pascale** prof. ass.

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, nel campo del comportamento elastico lineare dei materiali.

Programma

Analisi dello stato di deformazione e di tensione nell'intorno di un punto appartenente a un mezzo continuo. Principio dei lavori virtuali. Stati elastici isotropi ed anisotropi. Lavoro di deformazione e relativi teoremi. Problema di De Saint Venant. Caratteristiche della sollecitazione. Casi di sollecitazione semplice e composta: sforzo normale, flessione, torsione, taglio. Casi di deformazione piana e tensione piana: funzione di Airy. Tensioni e fattori di intensità delle tensioni in prossimità dell'apice di una fessura. Instabilità dell'equilibrio elastico. La sicurezza: criteri di crisi per materiali duttili e fragili. Proprietà meccaniche dei materiali da costruzione. Cenni sulla sperimentazione dei materiali e delle strutture. Costruzioni in cemento armato: teoria statica e principali casi di sollecitazione.

Statica delle strutture isostatiche. Proprietà statiche e cinematiche dei vincoli. Ricerca delle reazioni vincolari per via analitica e grafica. Cinematica delle strutture labili. Calcolo di reazioni vincolari col P.L.V. Ricerca della linea elastica di travi e sistemi di travi. Calcolo dei sistemi iperstatici di travi attraverso i metodi delle forze e degli spostamenti. Applicazioni del P.L.V. al calcolo di spostamenti e alla risoluzione di sistemi iperstatici. Telai piani a nodi fissi e a nodi spostabili. Calcolo dei telai per successive approssimazioni. Geometria delle aree. Circoli di Mohr. Verifiche di resistenza e di stabilità.

Testi consigliati:

1) Di Tommaso, *Fondamenti di Scienza delle Costruzioni*, Pàtron, Bologna.
2) Viola, *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni*, Pitagora, Bologna.
3) Carpinteri, *Geometria delle masse*, Pitagora, Bologna.
4) Capurso, *La statica del cemento armato*, Pitagora, Bologna.
5) Boscotrecase-Di Tommaso, *Statica applicata alle costruzioni*, Pàtron, Bologna.
6) Capurso, *Lezioni di scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna.

Esami: Una prova scritta ed una orale.

1143
STRUMENTAZIONE CHIMICA
Docente: **Leonardo Marchetti** prof. ord. (inc.)

Il corso si propone di dare allo studente una conoscenza della strumentazione fondamentale dell'industria chimica, in riferimento alle grandezze di processo che più frequen-

temente devono essere misurate. Il corso è integrato da alcuni capitoli riguardanti la teoria degli errori intesa come mezzo per la valutazione e la scelta di uno strumento di misura.

Programma

La strumentazione nell'industria chimica: misure e regolazioni. La misura: unità e sistemi di unità di misura. Metodi e strumenti di misura. Errori di misura: teoria degli errori (cenni). Inerzia di misura.

La strumentazione dell'impianto chimico e la sua rappresentazione grafica.

Misure industriali di pressione, di temperatura, di portata, di livello, di peso specifico, di viscosità, di umidità, di indice di rifrazione, di conduttività termica, di paramagnetismo. I trasduttori di spostamento. Le cellule fotoelettriche.

Gli analizzatori chimici e fisici di composizione, con particolare riguardo agli analizzatori continui del processo industriale.

Testi consigliati:

P. ANGELERI, *Regolazioni e Misure*, Ed. Vallecchi, Firenze.
D.M. CONSIDINE, *Process Instruments and Controls Handbook*, Ed. McGraw-Hill New York.
G. MINELLI, *Misure Meccaniche*, Ed. Patron, Bologna.
R. UGO, *Analisi Chimica Strumentale*, Ed. Guadagni, Milano.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica, Chimica fisica.

Il corso è completato da *esercitazioni* in aula e (possibilmente) da esercitazioni in laboratorio, che non tutti gli anni è possibile effettuare.

Esami orali.

Tesi di laurea. Studio ed applicazione di un nuovo metodo analitico o estensione a nuovi problemi di interesse applicativo di metodi analitici già noti. Studio della strumentazione di un impianto chimico già esistente o in corso di progettazione.

5819
SVILUPPO E DISEGNO DEGLI IMPIANTI CHIMICI
Docente: **Werther Neri**, prof. inc. stab.

Il corso tende essenzialmente a fornire gli elementi di guida per la progettazione impiantistica, per lo sviluppo dei disegni esecutivi e di montaggio, per la costruzione dei vari componenti di un impianto chimico e per la sua realizzazione nell'ambito dello stabilimento a cui è destinato. Fornisce altresì metodi e procedure per il calcolo e la verifica delle strutture, per la valutazione del costo degli impianti chimici e dei relativi prodotti.

Università di Bologna
BIBLIOTECA
INGEGNERIA
BOLOGNA

Il corso tende anche a fornire i criteri e le norme di legge e di buona tecnica nel campo della sicurezza antinfortunistica, della prevenzione e protezione contro gli incendi e dell'igiene del lavoro e ambientale.

Programma

La normalizzazione in generale e nell'industria chimica in particolare. Diagrammi a blocchi. Schemi tecnologici e specifiche di progetto.

La progettazione meccanica dei recipienti sottoposti a pressione interna o esterna. Verifiche di stabilità. Norme e indicazioni per la stesura dei disegni costruttivi degli apparecchi. Procedure per la costruzione e la verifica degli apparecchi saldati.

La progettazione meccanica degli scambiatori di calore.

Le tubazioni, gli accessori di linea e gli organi di intercettazione.

Gli impianti elettrici nell'industria chimica. Le norme CEI, 64-2 e 64-8.

La progettazione impiantistica e lo sviluppo realizzativo di un impianto chimico: organizzazione del lavoro e procedure; elementi e criteri per una razionale disposizione delle apparecchiature entro i limiti di campo; lo sviluppo dei disegni esecutivi di assieme e di montaggio meccanico (con particolare riguardo agli schizzi per la prefabbricazione delle tubazioni), dei disegni elettrici e strumentali; criteri per l'approvvigionamento dei materiali e per la commissione dei lavori di montaggio; controllo dei disegni esecutivi e della costruzione delle apparecchiature; collaudo dei materiali; stesura, verifica ed aggiornamento del preventivo di spesa degli impianti e dei prodotti.

I lavori di montaggio: organizzazione del cantiere, preparazione del terreno, lavori edili, erezione delle strutture metalliche, prefabbricazione delle tubazioni, posa in opera delle tubazioni interrate, montaggio delle apparecchiature, montaggio dei macchinari, montaggio delle tubazioni e dei relativi accessori, lavori elettrici, montaggio degli apparecchi e delle tubazioni, coibentazioni, verniciature, contabilità lavori.

La programmazione dei lavori di montaggio.

Operazioni preliminari per l'avviamento di un impianto.

Esempi di progettazione completa di alcuni impianti.

Elementi di sicurezza, igiene del lavoro e igiene ambientale: i vantaggi e i costi dell'attività intesa a minimizzare i rischi di azienda; le principali norme di legge nel campo della sicurezza e dell'igiene del lavoro; la prevenzione e la protezione contro gli incendi; criteri per una corretta progettazione nel settore della sicurezza.

Testi consigliati:

NERI W., *Progettazione e sviluppo degli impianti chimici*, Ed. Vallecchi, Firenze.

NERI W., *La prevenzione e la protezione contro gli incendi*, Ed. Tipografia Compositori, Bologna.

D.P.R. 27.04.1955, n° 547, «Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro».

D.P.R. 19.03.1956, n° 303, «Norme generali per l'igiene del lavoro».

Norme CEI 64-2 - fasc. 807 «Impianti elettrici nei luoghi con pericolo di esplosione o di incendio».

Norme CEI 64-8 - fasc. 1049 «Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua».

Esercitazioni: 2 ore settimanali durante il periodo in cui si tiene il corso. Inoltre vengono svolte esercitazioni durante tutto l'anno a sostegno e per assistenza al lavoro degli allievi, che sono tenuti a sviluppare cinque disegni riferentisi ad una ipotesi semplificata di un progetto realizzativo di un impianto chimico.

6529
TECNOLOGIA CHIMICA DEL DISINQUINAMENTO
Docente: **Alceo Gatta** prof. ass.

Il corso tratta i principali temi dell'ingegneria ambientale chimica, con particolare riferimento agli interventi tecnologici per la prevenzione dell'inquinamento ambientale. La materia non è esauribile in un singolo corso; il programma sotto riportato costituisce il contesto in cui si collocano gli argomenti svolti nelle lezioni e nelle esercitazioni, sui quali verte la prova d'esame che tiene anche conto del corso di laurea dello studente.

0. *Considerazioni introduttive.*
0.1. L'ingegneria ambientale chimica
0.1.1. I principi di ingegneria ambientale chimica. 1. L'ambiente come sistema. 2. Le operazioni unitarie dell'industria di processo. 3. L'ingegneria delle reazioni chimiche.
0.1.2. La tecnologia ambientale chimica. 1. Processi. 2. Impianti.

1. *Principi di ingegneria ambientale chimica*
1.0. Elementi di analisi dei processi
1.0.1. Cenni di teoria dei sistemi. 1. Definizioni e classificazione. 2. Stato, controllabilità e osservabilità. 3. Algebra degli schemi a blocchi. 4. Collegamenti elementari dei sottosistemi.
1.0.2. Le relazioni di base. 0. Generalità. 1. Equazioni di bilancio. 2. Stadi di equilibrio. 3. Equazioni cinetiche. 4. Modelli.
1.1. Il sistema ambiente
1.1.1. L'ambiente. 0. Generalità. 1. Le tipologie ambientali. 2. Progettazione ambientale. 3. Il sistema informativo ambientale. 4. L'ecosistema e le sue componenti. 5. Modelli ecologici.
1.1.2. L'inquinamento ambientale. 0. Generalità. 1. Conseguenze. 2. Costi.
1.1.3. Gli inquinanti ambientali. 1. Tipi. 2. Proprietà. 3. Parametri caratteristici. 4. Determinazione. 5. Effetti.
1.1.4. Le sorgenti inquinanti. 1. Tipi. 2. Caratteristiche. 3. Monitoraggio. 4. Effetti.
1.1.5. 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.
1.1.6. Interventi contro l'inquinamento ambientale. 1. Obiettivi (prevenzione, protezione, bonifica). 2. Modalità d'intervento (sulla sorgente, sull'emissione, sull'immissione,

sul ricettore). 3. Gli *standard* di qualità dell'ambiente. 4. Il criterio della migliore tecnologia disponibile. 5. I fattori di emissione. 6. Gli indici di qualità dell'ambiente. 7. Analisi costi-benefici.

1.1.7. 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.

1.2. Le operazioni unitarie dell'ingegneria ambientale chimica

1.2.1. 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.

1.2.2. 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.).

1.2.3. 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).

1.2.4. Trasmissione del calore. 1. Scambiatori di calore sensibile (p.es. ricuperi 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. ricupero termico in impianti di incenerimento dei rifiuti).

1.2.5. Trasporto di materia. 1. Assorbimento (p.es. abbattimento di inquinanti gassosi). 2. *Strippping* (p.es. rimozione d'inquinanti gassosi da fasi liquide). 3. Distillazione (p.es. ricupero 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. ricupero di sali da soluzioni). 8. Estrazione (p.es. lavaggio di fanghi).

1.2.6. 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.

1.3. Ingegneria delle reazioni chimiche

1.3.1. 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.

1.3.2. 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, marmitte catalitiche). 7. Varie.

2. *La tecnologia ambientale chimica*

2.1. Processi

2.1.0. Elementi di teoria dello sviluppo dei processi. 1. Ricerca e sviluppo di processo. 2. Tecnologie appropriate. 3. Schemi di processo. 4. Valutazioni economiche in sede di sviluppo di processo. 5. Sviluppo di soluzioni alternative. 6. Ottimazione (vincoli economici, vincoli ambientali). 7. Controllo di processo.

2.1.1. Processi specifici. 1. Combustione (generatori di vapore, inceneritori, torce, motori a combustione interna). 2. Depurazione delle acque di rifiuto (civili e industriali). 3. Potabilizzazione delle acque. 4. Trattamenti per il riuso di acque di rifiuto. 5. Produzione di biogas. 6. Compostaggio. 7. Innocuizzazione di rifiuti tossici e nocivi. 8. Bonifica ambientale (corpi idrici, terreni, ecc.). 8. Vari.

2.2. Impianti

2.2.0. Elementi di teoria dello sviluppo degli impianti. 1. Normalizzazione. 2. Progettazione tecnologica (diagramma P&I, *lay-out*, assonometrie, fogli di specifica degli apparati). 3. Servizi. 4. Analisi di sicurezza.

2.2.1. Impianti specifici. 1. Ventilazione di reparti di lavorazione. 2. Impianti di combustione (limitazione della formazione di inquinanti, abbattimento degli inquinanti, dispersione dei fumi). 3. Sistemi di torcia. 4. Impianti di depurazione delle emissioni gassose di processi industriali. 5. Impianti di depurazione delle acque di rifiuto civili e industriali. 6. Impianti di potabilizzazione delle acque. 7. Impianti di trattamento dei rifiuti solidi urbani. 8. Piattaforme di trattamento di rifiuti speciali e tossici e nocivi. 9. Discariche controllate.

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).

1142

TEORIA E SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI

Docente: **Carlo Stramigioli** prof. ass. (inc.)

Il corso si propone lo studio degli elementi fondamentali riguardanti le valutazioni economiche, a livello ingegneristico, connesse con lo sviluppo di un processo chimico (stima dell'investimento, del costo del prodotto, della redditività dell'impianto) e di alcune tecniche di ottimazione d'impianto.

Programma

1 *Introduzione*
2 *Elementi di matematica finanziaria*: valore attuale, montante, interesse (discontinuo e continuo), annualità, perpetuità, costo capitalizzato.
3 *Stima dell'investimento*: Considerazioni generali; metodo del coefficiente di giro, dell'investimento unitario, del coefficiente di Lang, di Miller, modulare, sia per il singolo apparato che per un insieme di apparati.
4 *Stima del costo del prodotto*: componenti del costo; valutazioni dei singoli costi diretti, dei costi indiretti, dei costi fissi, dei costi generali; ammortamento e sue varie forme.
5 *Stima della redditività*: produzione minima utile; diagramma del flusso di cassa; criteri di redditività; ritorno sull'investimento, tempo di ritorno, valore presente, flusso di cassa scontato in assenza ed in presenza di inflazione.
6 *Elementi di ottimazione*: considerazioni generali: massimo profitto; metodi con funzioni obiettivo in una sola variabile; metodi con funzioni obiettivo in più variabili; programmazione lineare; programmazione dinamica.
7 *Applicazioni ad impianti chimici.*

Testi consigliati:

F.A. HOLLAND, F.A. WATSON, J.K. WILKINSON, *Introduction to Process Economics*, J. Wiley.
M.S. PETERS, K.D. TIMMERHAUS, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, McGraw Hill.
D.F. RUDD, C.C. WATSON, *Strategy of Process Engineering*, J. Wiley.
A. CAPPELLI, M. DENTE, *Teoria e Sviluppo dei Processi Chimici*, CLUP, Milano.

7951
TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA
Docente: **Giulio Cesare Sarti** prof. ord. (inc.)

Programma

1. 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.

2. Il secondo principio della termodinamica ed il suo ruolo.
2.1. Problemi di lavoro massimo/lavoro minimo; ciclo di Carnot.
2.2. Vincolo per le equazioni costitutive ammissibili. Questo punto è sviluppato per sistemi con stato termodinamico spazialmente uniforme per sistemi con stato termodinamico spazialmente uniforme e con rifeirmento a diversi tipi di sostanze dotate di composizione uniforme ed in assenza di campi elettromagnetici: a) fluidi perfetti, b)

fluidi viscosi, c) solidi elastici, d) fluidi dotati di tensione superficiale.

2.3. Condizione di stabilità di stati di equilibrio vincolati. Condizioni di stabilità termica e di stabilità meccanica per le equazioni costitutive.

3. Proprietà termodinamiche di sostanze pure: fluidi viscosi e solidi elastici soggetti solo a deformazioni isotrope.

3.1. 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.

3.2. 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.

3.3. Diagrammi termodinamici di stato: temperatura-entropia, entalpia-entropia e pressione-entalpia. Applicazioni:

3.3.1. 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.

3.3.2. Cicli frigoriferi a compressione di vapore e cascate di cicli frigoriferi.

3.3.3. Cicli criogenici.

3.4. 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 epr le proprietà di msicele.

3.5. 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.

3.6. Calcolo di previsione di temperatura critica, pressione critica, volume critico, fattore acentrico e del calore molare di gas ideale basati sui contributi di gruppo.

3.7. Moto di fluidi comprimibili. Cenni: moto adiabatico e moto isotermo; efflusso da un ugello.

4. Terzo principio della Termodinamica.

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 Termodynamics*, 2ª ed., J. Wiley, 1989.

R. REID, J.M. PRAUSUITZ, 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.

CORSI DI LAUREA IN INGEGNERIA MINERARIA E INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

Programmi delle materie di insegnamento

Per le seguenti materie:

1349 Analisi matematica I
1353 Analisi matematica II
1366 Fisica I
1370 Fisica II
9757 Geometria e Algebra
1378 Meccanica razionale
v. Corso di Laurea in Ingegneria meccanica

4125 Consolidamento dei terreni
4131 Difesa e conservazione del suolo
430 Fisica tecnica
2007 Geotecnica (sem.)
490 Idraulica
496 Idrologia e idrografia
2008 Tecnica delle fondazioni (sem.)
v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile

9758 Disegno tecnico industriale
275 Elettrotecnica
663 Macchine
1385 Meccanica applicata alle macchine
6801 Scienza delle costruzioni
v. Corso di Laurea in Ingegneria Chimica

54
ARTE MINERARIA
Docente: **Paolo Berry** prof. ord.

Il Corso fornisce i principi fondamentali 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 tecnico-ingegneristiche e quelle economico-finanziarie-legislative con partico-

lare 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

— *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 nella coltivazione di minerali strategici; 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. Cenni sui criteri geostatistici e sulla pianificazione dell'attività estrattiva. La valutazione delle miniere. Le riserve. La campionatura. Le grandi preparazioni ed i tracciamenti. I principali metodi di coltivazione di minerali metalliferi non metalliferi ed energetici. Coltivazioni a giorno: progetto di coltivazione a cielo aperto ed in sotterraneo; metodi ed organizzazione. Coltivazioni di materiali di seconda categoria: cave per pietre ornamentali e per l'edilizia, 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 nelle gallerie, nei pozzi e nei grandi scavi di coltivazione sotterranei ed a cielo aperto. La subsidenza mineraria ed il suo controllo; recupero di minerale e problemi di sicurezza: scelte tecniche ed economiche.

— *La tecnica degli scavi.* Criteri di scelta e nuove tecnologie; abbattibilità delle rocce; abbattimento meccanico con tagliatrici; macchine a scavo integrale e puntuale; abbattimento con esplosivi. Teoria dell'abbattimento; 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 acquifere; sismicità indotta dalle volate e problemi di sicurezza. Ventilazione: condizioni ambientali sicurezza e salubrità, progetto di ventilazione per reti complesse.

Testi consigliati:

W.A. Hustrulid, *Underground Minin 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.

Esami: prova orale con richiami alle applicazioni pratiche svolte nelle esercitazioni.

Tesi di laurea: Progetti relativi a miniere, cave; tecnica degli scavi (organizzazione e disegno dei cantieri di abbattimento, scavo con frese o con esplosivi, sicurezza e salubrità).

92
CHIMICA APPLICATA (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 alghe.
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
I combustibili solidi: i carboni fossili. Cenni su origine, composizione e struttura dei carboni fossili. Classificazione e caratterizzazione chimico-fisica ed attitudinale. Processi speciali ottenuti dal carbone: grafite per elettrodi, fibre di carbonio, carboni attivi.
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:

1) GIRELLI, *Trattato di Chimica Industriale ed Applicata*, Zanichelli, Bologna.
2) MARIANI, *Chimica Applicata e Industriale*, Un. Tip. Ed. Torinese.
3) Pubblicazioni specifiche distribuite dal docente.

Esami

L'esame consta di una prova orale.

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 dinamcia; le successioni ecologiche: stadio di climax.

12) I cicli biogeochimici: il ciclo dell'azoto, del CO_2 del CO e del CH_4, 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.

430
FISICA TECNICA AMBIENTALE
Docente:

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. Miscele 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, Ericcson). 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 isotermo. 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 (per Nucleari e Ambiente)
Docente: **Franca Rossi Tesi** prof. ass.

Il corso si propone di fornire agli studenti i principi fondamentali per l'analisi e la risoluzione di diverse classi di problemi mediante l'uso di un sistema di calcolo.

Programma

Analisi del problema e progetto degli algoritmi

Metodi di analisi di un problema. Proprietà di un problema perché sia conveniente la soluzione su un calcolatore: dimensione, ripetitività, precisione. Definizione di algoritmo e sue proprietà.

Descrizione funzionale di un calcolatore elettronico

Processo di elaborazione automatica. Funzioni di ingresso-uscita, memorizzazione, calcolo, controllo. Linguaggio macchina. Concetto di programma. Esempi di algoritmi risolti in linguaggio macchina. Rappresentazione delle informazioni sul calcolatore: caratteri numerici, alfabetici e speciali. Sistemi di rappresentazione decimale, binario, ottale. Problemi di arrotondamento e di precisione.

Definizione di un linguaggio per la rappresentazione degli algoritmi

Scelta del linguaggio. Diagrammi di flusso. Linguaggio FORTRAN: definizione degli elementi di base del linguaggio: alfabeto, costanti, variabili, operatori, espressioni, istruzioni.

Algoritmi di calcolo numerico

Operazioni elementari sulle matrici e calcolo di determinanti. Calcolo delle radici reali di equazioni algebriche e trascendenti. Sistemi di equazioni lineari e inversione di matrice. Metodi di interpolazione e minimi quadrati. Calcolo di integrali definiti. Metodi per la

soluzione numerica di equazioni differenziali ordinaire; cenni ai metodi per le equazioni alle derivate parziali. Problemi di errore.

Strutture dei dati ed esempi di algoritmi

Vettori e matrici, tabelle. Metodi di ordinamento e di ricerca dei dati. Stringhe e liste. Code e pile. Matrici sparse. Esempi di algoritmi di elaborazione su matrici, insiemi, tabelle, liste, alberi e grafi.

Gli *esami* constano di una prova scritta sugli algoritmi e sul linguaggio di programmazione FORTRAN e di una prova orale.

Le *esercitazioni* riguardano la messa a punto di algoritmi e di programmi di calcolo con l'uso di un elaboratore elettronico.

454

GEOFISICA MINERARIA

Docente: **Giulio Cesare Borgia** prof. ass. (inc.)

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 elastiche 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 marcatempo. 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
Docente: **Carlo Elmi** prof. ass. (Ambiente e Territorio)

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; gravità, magnetismo e flusso di calore.

Crosta oceanica e crosta continentale. Processi crostali. Tettonica a placche. Movimenti laterali e verticali delle placche; margini: accrescimento e consumazione. Isostasia e eustasia.

Il consolidamento magmatico e la formazione delle rocce ignee. Plutonismo. Le forme delle intrusioni magmatiche. Vulcanismo: attività e prodottti dei vulcani. Il modello globale del vulcanismo.

I processi di superficie e gli ambienti. Ambienti e facies sedimentarie, continentali, costieri e marini.

Geologia stratigrafica. Litostratigrafia, cronostratigrafia. Correlazioni stratigrafiche. Trasgressioni e regressioni.

Geologia strutturale. La deformazione delle rocce. Faglie, fratture; pieghe.

Geologia ambientale. Rischi geologici: frane, subsidenza, terremoti. Risorse: acque sotterranee; geotermia.

Geologia degli idrocarburi: origine, genesi, migrazione. Le trappole di accumulo.

Principi generali di rilevamento geologico. Le carte geologiche. Cenni di Geologia regionale dell'Italia.

Rocce ignee, sedimentarie e metamorfiche: descrizione e riconoscimento.

Testi consigliati:

PRESS F., SIEVER R., *Introduzione alle Scienze della Terra*, Zanichelli ed.
AA.VV., *Enciclopedie Cambridge. Scienze della Terra*, Editori Laterza.
PIERI M., *Petrolio*, Zanichelli ed.
Dispense integrative fornite dal docente.

465
GEOLOGIA APPLICATA
Docente: **Giulio Cesare Carloni** prof. ord.

Finalità

Il corso è espressamente finalizzato a fornire un'ampia consocenza di nozioni geologico-applciative, indispensabili per corretto uso delle tecniche ingegneristiche nel campo della progettazione più generale delle opere civili.

Il corso fornisce le nozioni propedeutiche di litologia geologia e rilevamento geologico-tecnico per la risoluzione dei problemi geologici che di volta in votla 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.

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 entropica. Aspetti geoapplicativi legati alla definizione dell'idoneità di siti per discariche controllate. Problemi geologico-tecnici nella progettazione di strutture viarie e grandi infrastrutture.

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 sotterraneo; 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.

Cicli di *esercitazioni* per la pratica sul riconoscimento delle rocce con incursioni sul terreno. Viaggi di istruzione riguardanti la geologia dell'Appennino centro-settentrionale. La visita a cantieri stradali e zone in frana, dighe ed impianti acquedottistici completano il programma del corso.

Le esercitazioni, in più turni, iniziano nel mese successivo all'avvio delle lezioni e proseugono al ritmo di 1 ora alla settimana fino alla fine dell'anno accademico.

Testi consigliati:

G.C. Carloni, *Litologia e Geologia*, 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.

482
GIACIMENTI MINERARI
Docente: **Gianfranco Simboli** prof. ord. (inc.)

Finalità del corso:

Introdurre il concetto di giacimento minerario, visto sotto l'aspetto produttivo ed economico. Fornire allo studente la conoscenza della genesi di principali giacimenti. Distinguere nell'ambito delle regioni i vari giacimenti e la loro influenza nel campo economico.

Programma

Definizione di giacimento minerario. Classificazione dei giacimenti. Rassegna dei fattori determinanti le condizioni di sfruttamento delle mineralizzazioni. Giacimenti generali e speciali. Esame dei metodi di ricerca e di esplorazione dei giacimenti. Stima dei giacimenti: cubatura e tenori. Giacimento di origine magmatica. Distribuzione delle mineralizzazioni attorno alle masse intrusive. Giacimenti liquido magmatici. Giacimenti di smista-

mento allo stato liquido. Giacimenti di segregazione con o senza concentrazione. Giacimenti tardo liquido-magmatici. Giacimenti pegmatitici. Pegmatiti semplici e complesse. Giacimenti pneumatolitici. Giacimenti pirometasomatici. Giacimenti idrotermali. Origine e natura delle soluzioni idrotermali. Modalità di trasporto dei componenti ad opera delle soluzioni idrotermali e loro deposito. Morfologia dei corpi mineralizzati. Giacimenti filoniani, metasomatici, d'impregnazione. Fattori di controllo litologico, stratigrafico, geologico e magmatico sulla localizzazione delle mineralizzazioni nella crosta terrestre. Criteri per determinare le condizioni di temperatura e pressione di formazione delle mineralizzazioni. Provincie ed epoche metallogenetiche. Rigenerazione delle mineralizzazioni. Descrizione sistematica dei principali tipi di mineralizzazione in relazione al contenuto con particolare riguardo ai giacimenti italiani ed ai più importanti nel mondo. Giacimenti esalativi sottomarini. Campi geotermici. Cause e modalità di alterazione dei giacimenti metalliferi con particolare riguardo a quelli costituiti da paragenesi a solfuri misti. Giacimenti di origine sedimentaria. Giacimenti alluviali, eluviali, residuali. Giacimenti salini marini e continentali. Giacimenti di solfo; giacimenti fosfatici. Giacimenti sedimentari di ferro, manganese, rame, piombo e zinco. Giacimenti di origine metamorfica. Breve descrizione con esercitazioni pratiche di riconoscimento dei più importanti minerali utili. Giacimenti sedimentari (argille per ceramica, per laterizi ecc., marne da cemento ecc.).

Materiali litoidi per la formazione di inerti (ghiaie, sabbie ecc.). Brevi cenni ai giacimenti di idrocarburi e delle acque termo-minerali.

Testi consigliati:

Dispense redatte dal docente.

Esami orali.
Propedeuticità consigliate: Geologia, Mineralogia e Petrografia.
Il corso è completato da visite ad alcuni giacimenti.

516
IMPIANTI MINERARI
Docente: **Sante Fabbri** prof. ass.

Finalità del corso

Illustrare criticamente gli impianti, i servizi ed il recupero ambientale nelle miniere e nelle cave, fornendo i principali elementi di calcolo.

Programma

Trasporto dell'abbattuto: Trasporti di cantiere e lungo le vie principali di carreggio. Trasporti continui: caratteristiche costruttive; criteri di calcolo e modalità d'impiego.

Trasporti discontinui: Locomotori, vagoni ed altri mezzi di locomozione. Trasporti esterni: strada; ferrovia; funicolare. I mezzi di carico e scarico del materiale.

Trasporti in cava, movimenti di terra ed organizzazione del trasporto (dumpers, autocarri, ruspe, scrapers, rippers).

Estrazione. Attrezzature dei pozzi. Macchine d'estrazione e organizzazione delle stazioni. Apparecchiature e impianti particolari d'estrazione.

L'aria compressa. Centrale di compressione. Calcolo del consumo d'aria e della rete di distribuzione. Manutenzione della rete e fughe d'aria.

Energia elettrica. Problemi di sicurezza che condizionano l'impianto. Tipi di rete e loro messa a terra. Apparecchiature antigrisutose. Cavi elettrici di miniera. Apparecchiature di interruzione per alta e bassa tensione. Trasformatori e motori elettrici.

Impianto di ventilazione per una miniera od una galleria.

Eduzione delle acque. Difesa attiva e passiva dalle acque. I mezzi di eduzione. Impianti principali e secondari.

Tecniche di abbattimento per pietre ornamentali (filo elicoidale, filo diamantato, tagliatrice a catena, seghe circolari, water jet, jet persing). Criteri tecnico-economici per la scelta degli impianti.

Impatto ambientale. Problemi di inquinamento e di stabilità. Criteri e tecniche di recupero ambientale. Collocazione e controllo delle discariche. Utilizzazione degli scarti di coltivazione e di lavorazione dei materiali di cava e di miniera.

Testi consigliati:

Dispense redatte dal docente.

Le *esercitazioni* forniscono i principali elementi di calcolo e di dimensionamento di impianti illustrati nel corso di lezioni. Completano la preparazione alcune visite a cantieri della zona.

Propedeuticità consigliata: Arte mineraria.

Tesi di laurea: indirizzo applicativo.

4137
LEGISLAZIONE MINERARIA (semestrale)
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 scarici (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 antismog» (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.

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.

Terza parte
1 - Meccanica dei serbatoi geotermici.
2 - Utilizzo dei fluidi geotermici ad alta e a bassa entalpia.
3 - Le acque termominerali: captazione e utilizzo.

Eami orali.
Propedeuticità consigliata: Idraulica.

690
MECCANICA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI
Docenti: **Gian Luigi Chierici** prof. ord. (Minerari A-K, Civili sez. idraulica)
Giulio Cesare Borgia prof. ass. (Minerari L-Z)

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 influidi, 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-univocità. 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 interpozzo.

— L'interpretazione delle prove di produzione nei pozzi a gas. Linearizzazione dell'equazione di diffusività per flusso radiale e sua soluzione per gas reali in condizioni di portata costante. Prove a portata variabile nei pozzi a gas. Isochronal tests. Interpretazione delle risalite di pressione nei pozzi a gas.

— L'ingresso d'acqua nei giacimenti: equazioni empiriche di Schiltuis e di Hurst. Soluzione di van Everdingen-Hurst per flusso in regime transitorio e soluzione approssimata di Fetkovich per acquiferi di estensione limitata.

— L'analisi del comportamento passato dei giacimenti: equazione di bilancio volumetrico. Il caso dei giacimenti di gas secco ed a condensato «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 diproduzione. 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. Chierici, *Principi di ingegneria dei giacimenti petroliferi*, Vol. 1, Agip S.p.A. Editore (settembre 1989) - Tutto il volume, tranne il Capitolo 8.

G.L. Chierici, *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.

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 situ, 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 delle varie strutture in roccia.

Programma

1 — Generalità sulla meccanica delle rocce - Tipi di rocce e loro composizione - Le discontinuità presenti negli ammassi rocciosi - I modelli di ammassi rocciosi e le tecniche per la loro individuazione e caratterizzazione - Mezzi di rilevamento in campo.

2 — Comportamento meccanico del materiale roccioso - Analisi delle tensioni - Analisi delle deformazioni - Reologia delle rocce - Richiami della teoria dell'elasticità e della plasticità - Teoria della rottura.

3 — Determinazione delle proprietà fisiche e meccaniche delle rocce in laboratorio ed in campo - Determinazione dello stato di tensione nel sottosuolo - Distribuzione delle tensioni attorno a strutture semplici in roccia con diverse condizioni di carico - Classificazione delle rocce e degli ammassi rocciosi dal punto di vista applicativo.

4 — Studio degli ammassi rocciosi secondo la teoria dei mezzi continui - Metodi analitici - Metodi numerici - Modelli in scala e fotoelastici.

5 — Studio degli ammassi rocciosi secondo la teoria dei mezzi discontinui - Metodi numerici e modelli in scala - Il modello clastico - Studio dell'equilibrio al limite.

6 — Applicazione della meccanica delle rocce allo studio dei problemi di carattere regionale - Fenomeni di subsidenza - Cartografia geomeccanica.

7 — Applicazione della meccanica delle rocce allo studio di problemi locali - Stabilità degli scavi in sotterraneo, stabilità degli scavi a cielo aperto e dei pendii naturali.

8 — Consolidamento di rocce e terreni in posto - La tecnica delle iniezioni - Il drenaggio delle acque per la stabilizzazione di pendii in frana - Il bullonaggio delle rocce in lavori di ingegneria civile e mineraria: criteri per il calcolo e la posa in opera dei bulloni - Metodologie e criteri per il risanamento e la sistemazione di frane in rocce e terreni.

Testi consigliati:

Appunti del Docente.
S.D. WOODRUFF, *Working Coal and Metal Mines*, vol. I.
OBERT, DUVALL, *Rock Mechanics and the Design of structures in Rock.*
C. JAEGER, *Rock Mechanics and Engineering.*
M. PANET, *La mécanique des Roches appliquee aux ouvréges du genie civil.*
E. HOEK, J.W. BRAY, *Rock Slope ENgineering.*

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. Provincie 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 Libraria 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 IDROCARBURI
Docente: **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. Compatibilità fra acqua d'iniezione e roccia-serbatoio. Impiego di correlazioni porosità/permeabilità per studi di giacimento. Individuazione di zone statisticamente omogenee. 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: laterolog 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. Costanti di equilibrio di partizione in sistemi di idrocarburi ad alta pressione; loro determinazione sperimentale ed applicazione a problemi di progettazione.

Testi consigliati:

G.L. CHIERICI, *Comportamento volumetrico e di fase degli idrocarburi nei giacimenti*, Giuffrè Editore, Milano, 1962.

Dispense su studio di carote e logs, redatte dal docente.

Esame orale, con richiami ad applicazioni pratiche delle materie del corso.

Propedeuticità consigliate: Fisica tecnica, Meccanica dei giacimenti di idrocarburi.

Tesi di laurea: Indirizzo applicativo, con particolare riferimento all'impiego degli studi su carote e degli studi di termodinamica dei fluidi nella previsione del comportamento dei giacimenti e (per la parte di termodinamica) nella progettazione di impianti di trattamento di gas ed olio in superficie.

805

PREPARAZIONE DEI MINERALI

Docente: **Fulvio Ciancabilla** prof. ord.

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.

10402
PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE
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 e osservabilità 3. Algebra degli schmi 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. ricuperi 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. ricupero 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. ricupero 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. ricupero 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, marmitte catalitiche) 7. Varie

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 SONDAGGI
Docente: **Giovanni Brighenti** prof. ord.

Finalità del corso:

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.

5 — Banche dati geologiche, geotecniche, minerarie.

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 PETROLE, *Cours de Forage*, Ed. Technip.
ENCICLOPEDIA DEL PETROLIO E DEL GAS NATURALE, *Voce Perforazione*, Ed. C. Colombo.
CAMBEFORT, *Forages et Sondages*, Ed. Eyrolles.
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 Cosntruction*, Elsevier.

Esami orali.
Propedeuticità consigliate: Geologia, Meccanica delle rocce, Fisica tecnica.
Tesi di Laurea: teoriche, sperimentali, di progetto.

7433
TECNICA DEL CONTROLLO AMBIENTALE
Docente:

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 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 composte. Le barriere acustiche. Modelli matematici previsionali.

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. 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.

9047
TECNICA DELLE COSTRUZIONI
Docente: **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 precompresse.

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
TOPOGRAFIA
Docente: **Giorgio Folloni** prof. ord.

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 geominerarie.

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'ecclimetro 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.

Fondamenti di fotogrammetria. La fotogrammetria terrestre e sua utilizzazione in miniera. La fotointerpretazione e sua utilizzazione per ricerche minerarie. Parametri delle fotografie. Riconoscimenti sui fotogrammi di strutture semplici sedimentarie e tettoniche. Giacitura degli strati e loro riconoscimento sui fotogrammi: strati orizzontali, verticali ed inclinati. Pieghe e faglie. Caratteristiche fotografiche dei principali tipi litologici: rocce sedimentarie, argille e marne. Calcari e dolomie. Evaporiti. Rocce eruttive. Rocce metamorfiche. Simboli per le carte fotogeologiche. Geostatica e sua utilizzazione nella prospezione mineraria.

Testi consigliati:

Dispense del corso (in distribuzione presso l'Istituto).
P. DORE, *Topografia e geodesia*, Patron, Bologna, 1948.
G. INGHILLERI, *Topografia generale*, UTET, 1974.
T. SEGUITI, *Topografia di miniera*, ed. Hoepli.
AMADESI, *Fotointerpretazione e aerofotogrammetria*, Pitagora, Bologna, 1975.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA (vecchio ordinamento) SETTORE DELL'INFORMAZIONE: CORSI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI, IN INGEGNERIA ELETTRONICA, IN INGEGNERIA INFORMATICA

Programmi delle materie di insegnamento

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, decomposizione Lagrangiana, rilassamento dello spazio degli stati), criteri di dominanza, procedure di riduzione. Algoritmi per la risoluzione dei problemi dell'assegnamento generalizzato, del circuito e del ciclo hamiltoniano a costo minimo, dell'istradamento 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'istradamento e schedulazione dei veicoli, dell'assegnamento generalizzato.

Durante il corso verranno inoltre presentate alcune applicazioni riguardanti problemi di turnistica, problemi di caricamento e percorso di veicoli, problemi di gestione di un sistema di trasporto di gas, problemi di localizzazione ottima e servizi.
Le esercitazioni saranno integrate con prove al calcolatore.
Propedeuticità consigliate: Ricerca Operativa.

Testi consigliati:

C.H. PAPADIMITRIOU, 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.

Dispense a cura del docente.

L'*esame* consiste in una prova scritta e in una successiva prova orale a carattere integrativo.

Indirizzo delle *Tesi di Laurea*: algoritmi per la risoluzione di problemi di ottimizzazione combinatoria.

1352

ANALISI MATEMATICA I

Docenti: **Silvano Matarasso** prof. ord. (A-D, Elettrici)
Carlo Ravaglia prof. ass. (E-Q)
Costante Pontini prof. ass. (R-Z, Chimici)

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, trasformazioni 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. $\mathbf{B(A,R)}$ delle funzioni definite in A e a valori reali, limitate (norma del sup.): significato della convergenza in $\mathbf{B}$; sottospazio di $\mathbf{B}$ costituito dalle funzioni continue su A.

5. *Derivazione.*

Il caso delle funzioni di variabile reale: derivaa, 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 $\mathbf{R}^n$ 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 compelsso: esponenziale, logaritmo, funzioni circolari ed iperboliche, funzione potenza (principali prorpietà).

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: **Franco Nardini** prof. ass. (A-E, Elettrici)
Giovanni Mancini prof. ord. (F-Q)
Giovanni Mancini prof. ord. (R-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 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.

Diseguaglianza 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 R^n. Parametrizzazioni. 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 R^n. Parametrizzazioni. 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 (R^n continuità, Differenziabilità, Equazioni differenziali, Integrazione)*, CLUEB, Bologna.

B. DEMIDOMICH, *Esercizi e problemi di Analisi matematica II*, Ed. Riuniti, Roma.

6372
ANALISI MATEMATICA III
Docenti: **Giulio Cesare Barozzi** prof. ord. (A-K)
Franco Segala 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 fodnamentale 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.

1679
AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE SANITARIA
Docente: **Claudio Lamberti**, ricerc. (inc.)

Il corso tratta i problemi generali connessi con l'organizzazione e la gestione di un sistema sanitario ed i problemi specifici riguardanti l'automazione di alcuni servizi sanitari.

Programma

1. *Acquisizione ed elaborazione numerica di segnali ed immagini biomediche.*
Strumentazione per l'acquisizione e l'elaborazione di segnali biologici (segnali monodimensionali ed immagini). Elementi di analisi e progetto di filtri numerici. Cenni di elettrofisiologia. Acquisizione ed analisi automatica dell'elettrocardiogramma (ECG) e dell'elettroencefalogramma (EEG). Strumentazione per l'acquisizione e l'elaborazione di immagine e di altri segnali di interesse biomedico. Tecniche di ricostruzione di immagini tomografiche.

2. *Automazione di alcuni servizi sanitari.*
Laboratorio di cateterismo cardiaco. Unità di terapia intensiva. Laboratorio di analisi chimico-cliniche. Laboratorio di indagine diagnostica per immagini: Ecografia ad ultrasuoni, Tomografia Assiale Computerizzata, Risonanza Magnetica Nucleare.

3. *Ingegneria Clinica e Sistemi Informativi Sanitari.*
La gestione delle tecnologie nei presidi sanitari. L'inventariazione e la manutenzione delle apparecchiature. Caratteristiche generali dei principali componenti di un Sistema Informativo Sanitario. Modello centralizzato e modello distribuito. Cenni su alcune realizzazioni significative. Cartella clinica tradizionale e problemi relativi alla sua automazione. Cenni sui DRG (Diagnosis Related Groups) e sul loro utilizzo. Valutazione dell'accuratezza dei test diagnostici.

4. *Modellistica dei sistemi sanitari.*
Evoluzione dell'organizzazione sanitaria. Modello della popolazione, dell'incidenza e del comportamento. Indici di qualità e di utilizzazione. Indicatori sanitari.

Testi consigliati:

Appunti redatti a cura del docente.
Pubblicazioni indicate dal docente.
C. Marchesi, *Tecniche numeriche per l'analisi dei segnali biomedici*, Pitagora Editrice, Bologna.

7940
BIOINGEGNERIA (III anno)
Docente: **Gianni Gnudi** 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
contributo del metodo sperimentale allo sviluppo delle conoscenze biomediche; 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 fisiolsogia
proprietà fisiche e chimiche generali della sostanza vivente; la cellula e le sue funzioni; trasporto attraverso la membrana cellulare; organizzazione degli esseri viventi: cellule, tessuti, organi ed organismi; confronto fra sistemi biologici e sistemi artificiali e problemi posti all'applicazione del metodo ingegneristico nell'analisi dei sistemi biologici.

3. L'organismo umano: una visione d'insieme
l'organismo umano come sistema che funziona ed interagisce con l'ambiente attraverso un flusso continuo di materia, energia ed informazione; schema a blocchi generale.

4. Sistema cardiocircolatorio
struttura generale; proprietà fisiche e chimiche del sangue; elementi di emodinamica per il flusso stazionario; 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; tecniche di misura della pressione, della portata e del volume ematici nei vari distretti, nonché dei principali parametri che caratterizzano il sistema cardiovascolare; circolazione linfatica; elementi di elettrocardiografia: elettrofisiologia cardiaca, elettrocardiogramma e relative tecniche di derivazione.

5. Distribuzione dei liquidi nell'organismo.

6. Sistema renale
struttura e funzionamento generali; definizione e misura della «clearance» renale; portata di filtrazione glomerulare e sua misura; ruolo del rene nel mantenimento dell'omeostasi.

7. Sistema respiratorio
struttura e funzionamento generali; 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.
8. Regolazione dell'equilibrio acido-base.

Il corso è integrato da *esercitazioni* al calcolatore consistenti nella soluzione di esercizi, nella messa a punto di semplici programmi di simulazione e nell'impiego di programmi già predisposti 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 fisiologia medica*, Piccin Nuova Libraria, Padova, 12987, 3a edizione italiana dalla 6a americana a cura di A. Curatolo e P. D'Arcangelo.
V. Albergoni, C. Cobelli, G.L. Francini, *Biological Systems - An Engineering approach to physiology*, Pitagora Editrice, Bologna, 1974.

7671
BIOAUTOMATICA (V anno)
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 modelli. Approssimazione ed errori di modello. Rapporto tra modellistica e seprimentazione. 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 neuronali. 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. Matematical 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 Fiedls* Sprigner-Verlag, 1986.

9602
BIOMECCANICA E BIOMACCHINE
Docente: **Angelo Cappello** ricerc. (inc.)

Finalità

Scopo del corso è quello di dare una visione unificante dei fenomeni viscoelastici nei mezzi continui, fornendo 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 comprotamento 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, respiratorio e della locomozione.

Attraverso semplici esempi viene 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 il tipo di trattazione che fa ampio ricorso all'analogia elettrica e ad una presentazione dei problemi orientata alla loro soluzione mediante calcolatore elettronico.

Programma

1. Introduzione all'applicazione della meccanica del continuo allo studio di materiali e sistemi biologici
   1.1 Il concetto di tensione, spostamento e deformazione.
   1.2 Equazioni costitutive: fluido viscoso newtoniano, solido elastico di Hooke.
   1.3 Bilancio di materia ed energia nei mezzi continui. Alcune equazioni di campo: equazione di Navier-Stokes per un fluido newtoniano incomprimibile, equazione di Navier per un solido elastico lineare.
   Applicazione a casi elementari.
   1.4 Il metodo degli elementi finiti per la soluzione di problemi di meccanica del continuo.
2. Meccanica dei tessuti passivi
   2.1 Caratteristiche di comportamento: isteresi, rilassamento, elasticità non lineare.

2.2 Analisi alle piccole deformazioni: viscoelasticità lineare. Modelli di Maxwell, Voigt, Kelvin e Boltzmann.
2.3 Analisi alle deformazioni finite: teoria viscoelastica quasi-lineare.
2.4 Applicazione ai tessuti tendinei, cartilaginei ed ossei.
I vasi arteriosi come esempio di materiale composito.
3. Meccanica del sistema respiratorio
3.1 Modelli della meccanica polmonare.
3.2 Apparecchiature per la ventilazione artificiale.
4. Meccanica dei tessuti contrattili
4.1 Il muscolo scheletrico: struttura e proprietà meccaniche. Modelli fisico-matematico: relazione forza-lunghezza-velocità di accorciamento.
4.2 Il muscolo cardiaco: struttura, proprietà meccaniche, modellistica.
5. Meccanica cardiaca
5.1 Il cuore come pompa pulsatile e sua interazione col sistema vascolare.
5.2 Apparecchiature per la circolazione extracorporea.
6. Dinamica della locomozione
6.1 Cinematica e dinamica della locomozione. Tecniche di misura.
6.2 Modelli diretti ed inversi del sistema muscolo-scheletrico.
6.3 Applicazioni in ortopedia, medicina sportiva e riabilitazione.

Testi consigliati:

Dispense redatte dal docente.

Y.C. Fung, *Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues*, Springer-Verlag, New York, 1981.
D.A. Winter, *Biomechanics of human movement*, John Wiley & Sons, New York, 1979.

Il corso è integrato da *esercitazioni* in 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.

10383
CALCOLATORI ELETTRONICI I
Docenti: **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 — Me-

todi di indirizzamento — Strutture di dati.

Tipi di istruzioni — Istruzione di trasferimento, rotazione, booleane, aritmetiche, reali e di gestione degli indirizzi — Istruzioni di modifica del controllo, salto e subroutines.

Microprogrammazione — Microarchitettura — Decodifica delle istruzioni — Unità di controllo — Unità logica e artimetica.

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.

Muliprocessing — 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 II
Docente: **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. Silberrschatz, 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 riflettenza e immettenza.

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.

5699

CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI II

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. Hais, *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.

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 Cp e Cv. 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).

Testo consigliato:

P. CHIORBOLI, *Fondamenti di Chimica*, Ed. UTET, Torino.

7942
CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI
Docente: **Renato Colle** prof. straord.

Il corso si propone di fare acquisire i fondamenti di meccanica quantistica e i primi elementi di meccanica statistica necessari per uno studio dettagliato della fisica dei semiconduttori da effettuarsi nei corsi successivi dell'indirizzo di microelettronica.

Il corso può essere considerato come base culturale a sé stante, oppure coordinato con i corsi di Microelettronica e Elettronica Applicata III nel cui ambito verranno sviluppati più diffusamente i concetti di stato solido necessari per illustrare il funzionamento dei dispositivi a semiconduttori.

Programma

Meccanica Quantistica

Parte I

Crisi della fisica classica: difficoltà connesse con i calori specifici e 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 e di Davisson e Germer, calcolo dei calori specifici dei gas, teorie di Einstein e di Debye dei calori specifici dei solidi. 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 e meccanica ondulatoria: l'equazione di Schrödinger.

Parte II

Principi generali della Meccanica Quantistica: principio di sovrapposizione, osserabili, probabilità di transizione, operatori associati alle osservabili e loro proprietà, osservabili compatibili. Relazioni di indeterminazione. Postulato di quantizzazione. Oscillatore armonico unidimensionale. Rappresentazioni: la rappresentazione di Heisenberg per l'oscillatore armonico, rappresentazione delle coordinate, rappresentazione degli impulsi e loro relazione. Caratteristiche generali dell'equazione di Schrödinger nel caso unidimensionale. Sistemi quantistici esattamente risolubili: buche e barriere di potenziale, effetto tunnel, oscillatore armonico. Potenziale periodico, operatori di traslazione, teorema di Bloch. Corrente di probabilità. Evoluzione temporale: particella libera e pacchetti d'onde. Limite classico della Meccanica Quantistica. Momento angolare. Particella in un campo centrale. Sistemi a due particelle: atomi idrogenoidi e molecola biatomica. Metodi approssimati per la soluzione dell'equazione di Schödinger: teoria delle perturbazioni, metodo variazionale. Transizioni elettromagnetiche. Spin dell'elettrone, principio di esclusione di Pauli e configurazioni elettroniche. Esempi e applicazioni in campo atomico, molecolare e di stato solido.

Elementi di Meccanica Statistica

Definizione statistica dell'entropia. Funzione di partizione. Distribuzione di Fermi-Dirac e di Bose-Einstein. Limite classico di Boltzmann.

Testi consigliati:

C. Cohen-TGannoudij, D. Biu, F. Laloë, *Quantum Mechanics*, ed. Wiley.
E. Persico, *Fondamenti della meccanica atomica*, ed. Zanichelli.
E. De Castro, *Fondamenti di elettronica ed elementi di teoria dei dispositivi*, Utet.

9241
COMPLEMENTI DI MACCHINE ELETTRICHE (per Elettronici)
Docente: **Domenico Casadei** prof. ass.

Il corso riguarda l'analisi teorica e le applicazioni delle macchine elettriche, i cui principi di funzionamento sono stati illustrati nel corso di Elettrotecnica I, con particolare riguardo ai modelli matematici idonei alle applicazioni considerate.

Viene considerato il funzionamento dei motori elettrici alimentati con dispositivi elettronici e vengono analizzati i principali sistemi di controllo impiegati negli azionamenti elettrici.

Programma

— Conversione elettromeccanica dell'energia.

Forze meccaniche di origine elettromagnetica. Caratteristiche dei materiali magnetici ed elettrici. Modelli dei sistemi elettromagnetici. Circuiti equivalenti operazionali. Rappresentazione nel dominio delle L-trasformate e nello spazio degli stati.

Caratteristiche di dimensionamento dei sistemi elettromagnetici. Dimensionamento delle induttanze di spianamento. Esempio di dimensionamento di motore a riluttanza.

Vincoli termici in relazione al ciclo di lavoro.

— Trasformatori.

Trasformatori a due avvolgimenti: matrice dinamica, autovalori, esempi di transi- tori.

Trasformatori trifase: modello in regime sinusoidale con l'impiego dei componenti simmetrici. Modello dinamico, componenti simmetrici istantanei.

Trasformatori per raddrizzatori. Trasformatori di potenza per frequenze superiori a quella industriale.

Dimensionamento di massima del trasformatore.

— Macchine a collettore.

Modello dinamico nei vari casi di eccitazione. Analisi linearizzata. Parametri di macchina e autovalori.

Alimentazione con convertitori DC/DC a uno, a due e a quattro quadranti. Forme d'onda di corrente e di coppia.

Controllo di velocità e coppia agendo su tensione e flusso. Effetti della retroazione con controllori PI e PID.

— Macchine polifasi ad induzione.

Modello del sistema di circuiti accoppiati. Trasformazione con i componenti simmetrici istantanei in un riferimento a velocità arbitraria. Analisi dei transitori elettrici ed elettromeccanici. Parametri di macchina e autovalori. Instabilità parametrica. Effetti della saturazione.

Variazione dei parametri di macchina con scorrimento e frequenza. Modelli più sofisticati. Modelli ridotti. Induttanza transitoria. Esempi di transitori.

Elementi di dimensionamento. Parametri di macchina per funzionamento a frequenza costante ed a frequenza variabile.

Alimentazione tramite convertitori statici di frequenza. Alimentazione a tensione o a corrente impressa. Forme d'onda di tensione e corrente. Ripple di coppia. Strategie di alimentazione per l'ottimizzazione del funzionamento del sistema alimentatore-motore.

Controllo di velocità e di coppia agendo su corrente e scorrimento.

Controllo di posizione, velocità e coppia ad orientamento di campo diretto e indiretto.

— Macchine sincrone.

Induttanze della macchina sincrona anisotropa. Modello della macchina in un riferimento a velocità di rotore. Analisi dei transitori elettrici e elettromeccanici. Macchine a rotore liscio. Macchine a magneti permanenti (brushless a.c.). Macchine a riluttanza (passo-passo). Instabilità parametrica.

Alimentazione tramite convertitori di frequenza a tensione e a corrente impressa. Funzionamento a frequenza variabile in condizioni stazionarie.

Controllo di velocità e di coppia agendo su frequenza e corrente.

Controllo di posizione, velocità e coppia ad orientamento di campo.

Testi consigliati:

A.E. FITGERALD, C. KINGSEY Jr., A. KUSKO, *Macchine elettriche*, Franco Angeli Editore, Milano, 1978.

G. PETRECCA, *La teoria unificata delle macchine elettriche rotanti*, Clup, Milano, 1981.

S. YAMAMURA, *AC motors for high-performance applications*, M. Dekker Inc., N.Y., 1986.

A. KUSKO, *Solid state DC motors drives*, M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1969.

DC Motor- Speed control- Servo systems, Electro-Craf Corp.

J.M.D. MURPHY, *Thyristor control of a.c. Motors*, Pergamon Press, Oxford, 1973.

W. LEONARD, *Control of electrical drives*, Springer-Verlag, Berlin, 1985.

B.K. BOSE, *Power electronics and AC drives*, Prentice-Hall, N.J., 1986.

Appunti del docente.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica I, Elettronica applicata I, Controlli automatici I.

Esami orali.

Tesi di Laurea teoriche e sperimentali sui problemi connessi agli azionamenti elettrici.

192
COMUNICAZIONI ELETTRICHE
Docenti: **Leonardo Calandrino**, prof. ord. (Ing. Informazione A-K)
Gianni Immovilli, prof. ord. (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.

Programma

Scenario delle telecomunicazioni.
Rete di telecomunicazioni, trasmissione e commutazione.

Teoria dei segnali.
Analisi dei segnali deterministici continui e discreti. Trasformate e loro applicazione ai sistemi fisici. Segnali aleatori, continui e discreti, e loro descrizione.

Segnali che più interessano le telecomunicazioni. Segnali analogici e segnali numerici. Segnali multicanale. Integrazione dei servizi.

Segnali passa-basso e passa-banda. Elementi di teoria della modulazione. Oscillazioni sinusoidali modulate in ampiezza e/o in angolo. Loro caratteristiche spettrali.

Il rumore di fondo. Principali cause di rumore nei circuiti elettronici. Temperatura equivalente di rumore di sistema.

Sistemi di trasmissione dell'informazione.
Trasmettitori, canali e ricevitori. Cenni sui principali canali di trasmissione passa-basso e passa-banda. Riconoscimento del segnale in presenza di rumore e qualità di trasmissione. Progetto di massima di un collegamento.

Elementi di teoria dell'informazione.
Entropia di una sorgente di informazione discreta. Codificazione di sorgente e di canale. Teoremi fondamentali.

Esercitazioni in aula ed in laboratorio.

Testi consigliati:

L. CALANDRINO, G. IMMOVILLI, *Schemi delle lezioni di Comunicazioni Elettriche*, Pitagora Ed., Bologna.

Esami scritti e orali.

Propedeuticità consigliate.
Elettrotecnica I, Analisi matematica III.

5700
COMUNICAZIONI ELETTRICHE II (vedi Reti di telecomunicazioni)
Docente: **Giorgio Corazza** prof. ord.

3694
CONTROLLI AUTOMATICI (Ing. Elettronica e Ing. delle Telecomunicazioni)
Docente: **Eugenio Sarti** prof. ord.

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 nel 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 correttrici: 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 lienari. 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.
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 I
Docente: **Giovanni Bertoni** prof. ord. (Informatici III anno)

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 correttrici di tipo anticipo, ritardo, anticipo-ritardo. Regolatori standard. Retroazione tachimetrica.
Sistemi di retroazione non lineari: La funzione descrittiva. Il criteiro 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 II
Docente: **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-bag.
2) Il controllo ottimo in retroazione.
   2.a) Regolazione ed inseguimento a tempo finito con retroazione dello stato. Regolazione a tempo 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-slaped*.
   2.e) Dispositivi di controllo di ordine dinamico limitato. Riduzione dell'ordine dinamico di un modello matematico. *Spillovers* e compensazione algebrica.
3) Controllo di misure meccaniche flessibili. Modelli a parametri distribuiti. Co-locazione. 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.

Testo consigliato:

M. Tibaldi, *Progetto di sistemi di controllo*, Pitagora, Bologna, 1992.

L'*esame* consiste in una prova orale.

Le *esercitazioni* sono inserite senza soluzione di continuità nello svolgimento della parte teorica cui si riferiscono.
Propedeuticità consigliate: Teoria dei sistemi, Controlli Automatici I.
Tesi di laurea: studi teorici e metodi numerici inerenti l'analisi di sistemi dinamici ed il 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 microprocessori: problemi di quantizzazione, elaborazione e memorizzazione e criteri di scelta delle

caratteristiche hardware/software. Sintesi di regolatori stocastici: filtraggio e predizione ottima basata su modelli ingresso-uscita e su modelli di stato, controllo a minima varianza.

3. *Modellistica e Identificazione*

Definizione, scopo ed utilizzazione dei modelli ai fini del controllo. Modelli matematici parametrici e non parametrici. Linearità nei parametri e nella dinamica. Forme canoniche nello spazio degli stati e forme ingresso-uscita. Modello dei disturbi. Criteri deterministici e statistici per la definizione di un modello. Tecniche numeriche di elaborazione; metodo dei minimi quadrati fuori linea e in linea. Confronto con i metodi di correlazione. Estensioni al caso di parametri lentamente variabili nel tempo. Metodo di massima verisimiglianza.

4. *Controllo adattativo*

Schemi di controllo a modello di riferimento (MRAS) e autosintonizzanti (ST). Sintesi di regolatori ST basati sull'assegnamento di poli e zeri e sul criterio della minima varianza.

5. *Applicazioni*

Controllo di una macchina per la produzione di carta. Il bilancio materiali in impianti petrolchimici. Controllo di temperatura di un reattore chimico. Controllo di posizione di un'antenna. Controllo di movimento di un robot industriale, in posizione e in forza. Illustrazione delle fasi di progetto e di realizzazione di un sistema di controllo adattativo e microprocessore.

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.

Lo svolgimento della prova di *esame* consiste normalmente nella discussione di un esercizio (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 un package didattico utilizzabile per la soluzione dei principali algoritmi di identificazione e controllo presentati. Gli studenti possono utilizzare tale package al terminale della Facoltà per lo sviluppo di progetti consigliati. Sono organizzate visite a gruppi al laboratorio automazione.

Propedeuticità: E' consigliabile avere già nozioni di Controlli Automatici, Reti logiche, Teoria dei sistemi e la conoscenza del linguaggio FORTRAN.

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
Docenti: **Nino Luciani** prof. ass. (inc.) (A-K)
Alessandro Grandi prof. ass. (L-Z)

Il corso si propone essenzialmente due obiettivi: 1) fornire agli studenti i criteri ed i metodi per la scelta economica di soluzioni tecniche diverse; 2) fornire agli studenti alcune indispensabili conoscenze sul mondo del lavoro, della produzione e degli affari, ed alcune elementari norme giuridiche.

Programma

1. *Introduzione al funzionamento dell'economia di mercato*
Microeconomia e macroeconomia. Il mercato: Le curve di domanda e di offerta. L'equilibrio di mercato. L'elasticità della domanda e dell'offerta. Cenni sul comportamento del consumatore e di teoria della domanda.

2. *Economia della produzione, Teoria dell'impresa e Strutture di mercato*
I fattori della produzione e la funzione di produzione. Natura dei costi di produzione e tipologia dei costi. Produttività e rendimenti. Le economie di scala. Le motivazioni dell'impresa: profitto e continuità. La relazione prezzi-costi-volumi. La concorrenza perfetta. Equilibrio di breve e di lungo periodo. I mercati imperfetti: monopolio, concorrenza monopolistica, oligopolio. Le teorie manageriali e comportamentistiche dell'impresa.

3. *Cenni di macroeconomia*
Reddito e prodotto nazionale. Risparmi, consumi, investimenti. La determinazione del reddito di equilibrio. Teoria del moltiplicatore e politica fiscale. Prezzi, moneta e inflazione. Il commercio estero e la bilancia dei pagamenti.

4. *Analisi di settore e della concorrenza*
Il concetto di settore industriale. Integrazione verticale, differenziazione, barriere all'entrata, diversificazione, concentrazione. Forze competitive e performance d'impresa. I raggruppamenti strategici. Evoluzione e modelli generali di settore.

5. *Analisi degli investimenti*
Il bilancio d'esercizio. 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: valore attuale netto, saggio interno di rendimento, periodo di recupero, ecc. Le imposte nel calcolo di convenienza degli investimenti.

6. *Le funzioni aziendali*
La struttura organizzativa e i modelli di riferimento. Organizzazione e gestione della ricerca e sviluppo. Le variabili economiche e organizzative del sistema produttivo. La commercializzazione del prodotto e il marketing mix.

Testi consigliati:

T. Cozzi, S. Zamagni, *Economia politica*, Il Mulino.
M.E. Porter, *La strategia competitiva*, Compositori.
D. Zanobetti, *Economia dell'Ingegneria*, Patron.
R.A. Lipsey, *Introduzione all'economia*, EtasLibri.
P. Bosi, *I tributi nell'economia italiana*, Il Mulino.
N. Luciani, *Introduzione all'economia con applicazioni agli investimenti*, ed. CUSL, Bologna (dispense).

Ulteirori indicazioni circa i testi consigliati e le corrispondenze con il programma svolto, saranno fornite a cura dei docenti all'inizio dell'anno accademico ed affisse in bacheca.

2438
ELETTRONICA APPLICATA I
Docenti: **Sergio Graffi** prof. ord. (A-D)
Pier Ugo Calzolari prof. ord. (E-O)
Enrico E. Sangiorgi prof. ass. (P-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-pli bipoli, doppi bipoli. Bipoli elementari, lineari e non lineari, linerarizzazione delle relazioni costitutive, bipoli equivalenti per i piccoli segnali. Il simulatore di circuiti SPICE. Circuiti equivalenti per i piccoli segnali. Definizione e utilzizazione di diverse matrici. Funzioni di rete.

Conduttori, isolanti,s emiconduttori. Mobilità. Proprietà fisiche del silicio. Modello di legame, cenno al modello delle bande di energia. Elettroni e lacune, generazione e ricombinazione. 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 carat-

teristica 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 transistore 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 diinterdizione, normale, inversa, di saturazione, definizione e calcolo di Vcesat. 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, unilateralità. 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.

E' possibile, durante e dopo il corso, esercitarsi nell'analisi automatica di circuiti, con il programma SPICE, su personal computer e su VAX.

E' anche disponibile un ciclo di esercitazioni pratiche che ha luogo durante il IV anno di

corso. La frequenza è facoltativa e gli studenti interessati sono tenuti ad iscriversi presso il Dipartimento di Elettronica entro il 31 ottobre.

L'*esame* è composto da una prova scritta (2 ore), 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 transistore bipolare. Principio di funzionamento e modelli dei transistori MOS. Cenni sulla tecnologia planare del silicio e sui processi di fabbricazione dei circuiti integrati bipolari e MOS.

2. *Famiglie logiche*
Introduzione alle famiglie logiche e definizione delle principali caratteristiche. Circuiti digitali MOS, CMOS e BICMOS: criteri di progetto e calcolo dei parametri caratteristici, confronto tra varie soluzioni circuitali. Uso dei transistori MOS come transfer-gate e funzionamento dei circuiti dinamici MOS e CMOS. Circuiti buffer MOS. Schiere logiche e dispositivi programmabili (PLA, PLD). Principali famiglie logiche bipolari (TTL, ECL, I^2L): 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, E^2PROM). Strutture e funzionamento dei sense amplifrers. 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*, Znichelli.
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.

4314
ELETTRONICA APPLICATA III
Docente: **Giorgio Baccarani** prof. ord.

Finalità del corso

Il corso tratta le moderne metodologie di progettazione dei sistemi integrati a larga scala in tecnologia C-MOS, con riferimento sia alle problematiche architetturali dei processori realizzati su singolo chip sia alle tecniche di progettazione assistita a vari livelli di astrazione. Il corso prevede un ciclo di esercitazioni di laboratorio in un'aula appositamente attrezzata con un congruo numero di stazioni VAX-3100, dove gli studenti avranno l'opportunità di sviluppare un progetto quale, ad esempio, un semplice microprocessore a 4 bit o un sistema per l'elaborazione digitale dei segnali (DSP).

Programma del corso

1. *Progetto di celle digitali*

Brevi cenni di tecnologia lanare del silicio, con particolare riferimento ai processi n-MOS e C-MOS. Logiche CMOS statiche e dinamiche: logiche a quattro fasi, a due fasi e a una fase. Logiche C^2MOS, CVSL, DOMINO, NORA. Problemi di temporizzazione. Latch statici e dinamici. Schiere logiche programmabili (PLA).

2. *Aritmetica computazionale*

Sistemi numerici: virgola fissa, virgola mobile, sistemi logaritmici e residuali. Somma-

tori con riporto di vario tipo (*ripple carry, carry lookahead, Manchester, carry save*). Moltiplicatori seriali e paralleli. Divisori. Cenni sul calcolo di funzioni irrazionali e trascendenti: radice quadrata, logaritmo, esponenziale.

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 e descrizione delle opzioni architetturali: implementazione della unità di controllo mediante ROM microprogrammata o PLA. Progetto di macchine a stati finiti mediante PLA. Architetture a set ridotto di istruzioni (RISC).

4. *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. Convertitori A→D e D→A. Unità logico-aritmetica. Registri. Comunicazione con il mondo esterno.

Testi consigliati:

N. WESTE, K. ESHRAGHIAN, *Principles of C-MOS VLSI Design*, Addison-Wesley, 1985.
J. HENNESSY, D. PATTERSON, *Computer Architecture. A Quantitative Approach*, Morgan Kaufmann Publishers, 1990.
A. ANTONIOU, *Digital Filters: Analysis and Design*, McGraw-Hill, 1979.

2037
ELETTRONICA INDUSTRIALE
Docente: **Fabio Filicori** prof. straord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica)

2034
ELETTRONICA QUANTISTICA (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 meccanica 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.

Analisi della giunzione *p-n*. Il diodo a giunzione *p-n* come raddrizzatore e come varactor. Transistore JFET. Transistore bipolare in regime stazionario. Condensatore e transistore MOS.

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.

8082
ELETTROTECNICA
Docenti: **Filippo Ciampolini** prof. ord. (A-D)
Paolo R. Ghigi prof. ord. (E-O)
Maria Martelli Rossi 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-Q)
Ettore Verondini prof. ord. (R-Z, Chimici)

Il corso si propone di dare agli studenti quella preparazione di base che permetta loro di capire le metodologie e le finalità della fisica sperimentale attraverso un quadro dei concetti e dei principi della meccanica classica e della termodinamica.

Programma

1) *Elementi di calcolo vettoriale e di analisi vettoriale*

2) *Cinematica*
Generalità sul moto, sistema di riferimento. *Cinematica del punto materiale*: rappresentazione del moto. Concetto di velocità e di accelerazione: componenti cartesiane e componenti intrinseche. Problemi di cinematica del punto. Alcuni moti particolari: Moti piani; Moti centrali; Moto dei pianeti. *Cinematica dei sistemi rigidi*: Caratteristiche dei moti rigidi. Moti di traslazione, moti di rotazione, moti di rototraslazione (caso generale). *Cinematica dei moti relativi*: terna mobile; relazione tra le velocità; derivate relative; relazione tra le accelerazioni; l'accelerazione complementare.

3) *Dinamica*
Il concetto di forza. Il primo principio della dinamica. Il secondo principio della dinamica, misura dinamica delle forze. Sistemi inerziali. Relatività galileiana. Moto dei proiettili nel vuoto. La meccanica classica come caso limite della Meccanica relativistica: variazione della massa con la velocità. Il problema fondamentale della dinamica. Dinamica del punto vincolato: il pendolo semplice. La legge di gravitazione universale; verifiche sperimentali dirette e determinazione della costante gravitazionale. Campo e potenziale gravitazionale. Il campo di gravità: la componente centrifuga, la variazione con l'altezza e con la latitudine. Il terzo principio della dinamica, illustrato da semplici esperienze. Le equazioni cardinali della dinamica. Centro di massa e sue proprietà. Dinamica dei sistemi rigidi: studio dei moti di rotazione attorno ad un asse fisso. Momenti d'inerzia. Teorema di Huyghens-Steiner. Pendolo di torsione. Pendolo composto e sue applicazioni; pendolo reversibile e misura di g. Concetti di lavoro e di potenza. Teorema della forze vive. Teorema di König. Campi di forza. Forze conservative. Principio di conservazione dell'energia: applicazioni.

4) *Termodinamica*
Sistemi di equilibrio termico. Concetto di temperatura. Misura della temperatura. Temperatura del termometro a gas ideale. Equilibrio termodinamico. Equazione di stato. Sistemi PVT. Lavoro termodinamico. Trasformazioni quasi statiche. Lavoro di un sistema

PVT. Diagrammi PV e PT per sostanze pure. Lavoro e calore. Lavoro adiabatico. Energia interna. Il primo principio della termodinamica. Forma generale del 1° principio. Capacità termica e calori specifici. Flusso del calore quasi statico, serbatoio di calore. Proprietà termiche dei gas: equazione di stato, sviluppi del viriale, energia interna di un gas. Gas ideali: loro proprietà. Il problema centrale della termodinamica. Macchine termiche e loro rendimento. Macchine frigorifere. Il secondo principio della termodinamica. Reversibilità e irreversibilità. Irreversibilità meccanica esterna ed interna; irreversibilità termica esterna e interna; irreversibilità chimica. Condizioni per la reversibilità. Il ciclo di Carnot. Teorema di Carnot e corollario. Temperatura Kelvin. Zero assoluto. Teorema di Clausius. Entropia. Entropia di un gas ideale. Diagrammi TS. Trasformazioni reversibili, trasformazioni irreversibili e variazione di entropia. Principio dell'aumento dell'entropia. Entropia ed energia non utilizzabile.

Testi consigliati:

P. VERONESI, E. FUSCHINI, *Fondamenti di Meccanica classica*, Ed. Coop. Libraria Universitaria.
M.W. ZEMANSKY, *Calore e Termodinamica*, Ed. Zanichelli.
M. ALONSO, E.J. FINN, *Elementi di Fisica per l'Università*, vol. I, Ed. Addison-Wesley.
M. BRUNO, M. D'AGOSTINO e M.L. FIANDRI, *Esercizi di Fisica I*, Coop. Libraria Univ., Bologna, 1980.
S. FOCARDI, *Problemi di Fisica generale I*, Casa Editrice Ambrosiana, 1982.

Le *esercitazioni* costituiscono parte integrante del corso e attualmente non contengono alcuna prova pratica di Laboratorio.

Esame: orale.

1372
FISICA II
Docenti: **Franco Saporetti** prof. ass. (A-D, Elettrici)
Franco Malaguti prof. ass. (E-Q)
Cesare Moroni prof. straord. (R-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 princi-

pio 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 isotermo — 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 isotermo — 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. straord. (A-D)
Rita Scalas prof. ass. (E-O)
Dario Maio prof. ass. (P-Z)

Finalità del corso

Il corso intende 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, macchina di Turing.

2) La macchina di Von Neumann, architettura di un elaboratore sequenziale. Rappresentazione e manipolazione delle informazioni in linguaggio macchina. Il ruolo del sistema operativo e del file system.

3) Linguaggi di programmazione di alto livello: sintassi e semantica. Grammatiche e loro classificazione secondo Chomsky. Cenni sulla struttura di compilatori ed interpreti.

4) Progetto, definizione e verifica di correttezza degli algoritmi. Iterazione e ricorsione. Stili di programmazione imperativo e funzionale. Metodologie di programmazione strutturata, modulare e a oggetti. Strutture di dati: tecniche per l'organizzazione e la gestione di tabelle, liste, pile, code, alberi ed archivi.

5) Il linguggio Pascal. Organizzazione dei programmi, scope rules, strutture di controllo, strutture di dati. Progetto e realizzazione di algoritmi e sistemi software.

Esami. Consistono in una prova scritta ed una prova orale. È di fondamentale importanza ai fini del superamento dell'esame aver effettuato le prove pratiche all'elaboratore proposte durante il corso.

Testi consigliati:

Per una sintetica introduzione all'architettura hardware e software di un sistema informatico si consiglia il testo:
1) S. Ceri, *Architettura dei sistemi informatici*, CLUP, 1991.
Per il linguaggio Pascal ed i fondamenti della programmazione si consigliano i testi:
2) W. Findlay, D.A. Watt, *Pascal an introduction to methodical programming*, Pitman, 1981 (trad. in italiano: *Introduzione al Pascal*, Etas, 1983).
oppure
2) J. Welsh, J. Elder, *Introduzione al Pascal*, ESA, 1989.
oppure
2) J. Bishop, *Pascal corso di programmazione*, Addison-Wesley, 1990.

e

3) N. WIRTH, *Algoritmi + Strutture Dati = Programmi*, Tecniche Nuove, 1987.

e per lo sviluppo del software

si consiglia il compilatore Turbo Pascal della Borland (versione 5.5 o 6.0) e relativo manuale d'uso.

Sono inoltre disponibili dispense per gli altri argomenti.

7946

FONDAMENTI DI INFORMATICA II

Docenti: **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 e Programmazione in linguaggio Assembler
  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 - Strumenti
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.
Lo studente deve quindi dimostrare conoscenza dei vari ambienti ed esperienza e comprensione degli stessi.

Testi consigliati:

B.W. KERNIGHAN, D.M. RITCHIE, *Il linguaggio C*, Jackson, 1985.
I. QUARTIROLI, et alii, *Unix: Introduzione al Sistema Operativo*, CLUP, 1983.
H.S. STONE (ed.), *Introduction to Computer Architecture*, SRA inc., 1980.
Dispense dei docenti.

Esami. Consistono di una prova scritta e di una prova orale. È di fondamentale importanza una buona conoscenza strumentale degli ambienti operativi proposti nel corso.

9757
GEOMETRIA E ALGEBRA
Docenti: **Massimo Ferri** prof. ord. (A-D, Elettrici)
Anna Luisa Gilotti prof. ass. (E-Q, Nucleari)
Luigi Pezzoli prof. ass. (R-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 — Omomorfismi 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:

L. Cavalieri D'Oro, M. Pezzana, *Corso di Geometria*, Vol. I e II (parte V e VI), Ed. Esculapio, Bologna.
L. Cavalieri D'Oro, L. Gualandri, *Esercizi di Algebra e Geometria*, Voll. I e II, Ed. Esculapio, Bologna.
S. Abezsis, *Algebra lineare e Geometria*, Zanichelli, Bologna.

4138
LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE
Docente: **Antonio Natali** prof. straord. (inc.)

Contenuti del corso

Oggetto del corso è il linguaggio di programmazione, inteso come strumento primario per la comunicazione tra utente-elaboratore, elaboratore-elaboratore, programmatore-programmatore. La prima parte del corso viene dedicata allo studio di aspetti fondamentali dei linguaggi sequenziali, con l'obiettivo di approfondire la relazione tra costrutti linguistici, processi computazionali e metodologie e tecniche di programmazione. Seguendo un approccio di tipo operazionale, si introducono concetti e costrutti a complessità crescente, denotandone il significato con modelli di valutazione realizzati mediante specifici meta-interpreti.

La seconda parte del corso affronta il linguaggio di programmazione come un normale prodotto dell'ingegneria che deve essere adeguatamente progettato, descritto, documentato e validato. In particolare, viene approfondita la correlazione tra i metodi sintattici di descrizione dei linguaggi e le metodologie di sviluppo sistematico o automatico di compilatori ed interpreti. Vengono inoltre introdotti concetti fondamentali per la descrizione di linguaggi mediante metodi semantici, fornendo elementi di semantica non operazionale.

Programma

Concetti fondamentali

Famiglie di linguaggi: imperativi, funzionali, logici e a oggetti. Denotazione e valutazione di espressioni. Environments, binding e scope rules. Trasparenza referenziale e assegnamento. Lambda expressions e chiusure. Procedure e macro. Trasmissione dei parametri. Gestione della memoria. Linguaggi estendibili. Meta-interpretazione. Tipi di dato astratto e oggetti dotati di stato. Programmazione modulare e ad oggetti. Ereditarietà e polimorfismo. Elementi di programmazione relazionale e logica.

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 context-free e regolari. Metodi di descrizione semantica (grammatiche ad attributi, metodo denotazionale ed assiomatico). Compilazione e generazione di codice. Strategie di garbage collection.

Esercitazioni. La parte teorica del corso è strettamente correlata ad una parte pratica, obbligatoria, da svolgersi in laboratorio, centrata su Pascal (oppure C++), Lisp, Prolog e Smalltalk.

Modalità di esame. L'esame consiste in una prova orale che può essere sostenuta solo dopo una sufficiente e comprovata attività di laboratorio.

Testi e manuali:

Sono disponibili dispense e appunti a cura del docente, nelle quali è riportato un elenco dettagliato di testi utili, tra cui:

C. Ghezzi, M. Jazayeri, *Concetti dei linguaggi di programmazione*, Franco Angeli, 1989.

J.E. Hopcroft, J.D. Ullman, *Formal Languages and their relation to automata*, Addison Wesley, 1969.

H. Ableson, G.J. Sussman, J. Sussman, *Structure and Interpretation of Computer Programs*, The MIT Press, McGraw-Hill Book Company, 1987.

B. Meyer, *Introduction to the theory of Programming Languages*, C.A.R. Hoare Series Editor, Prentice Hall International Series in Computer Science, 1990.

Propedeuticità consigliate. Il corso richiede come pre-requisito la conoscenza di almeno un linguaggio di programmazione ad alto livello (Pascal, C) e della architettura di un elaboratore elettronico.

8073

MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE

Docente: **Angelo O. Andrisano** prof. straord. (inc.)

La materia svolta nel corso costituisce una sintesi di due discipline tradizionali dell'ingegneria industriale: la Meccanica applicata alle macchine e le Macchine.

La prima si occupa dello studio statico, cinematico e dinamico delle macchine.

La seconda studia le macchine a fluido per la conversione di energia evidenziandone gli aspetti termofluidodinamici.

Il corso si propone quindi di fornire, in maniera sintetica, all'allievo elettronico i principi di funzionamento delle macchine fornendogli le basi necessarie per affrontare i problemi di automazione, regolazione e controllo che sempre più frequentemente, nelle macchine, vengono affidati all'elettronica.

Programma

MECCANICA DELLE MACCHINE

Composizione dei meccanismi. Coppie cinematiche. Gradi di libertà di un meccanismo pinao e nello spazio.

Forze agenti sulle macchine. Rendimento.

Forze di contatto tra solidi. Coefficiente di attrito, lavoro di attrito. Attrito di strisciamento e di rotolamento. Usura, la coppia prismatica, la coppia rotoidale, la coppia elicoidale. Il contatto ceppo-puleggia. I cuscinetti a rotolamento.

Richiami di cinematica. Corpo rigido nel piano, centro di istantanea rotazione; accelerazione; corpo rigido nel moto sferico.

I sistemi articolati. Il quadrilatero articolato piano e le sue applicazioni; trasformazione di un moto rotatorio continuo in moto alterno; velocità e accelerazione della biella; catena cinematica con tre coppie rotoidali ed una prismatica; il manovellismo di spinta. Espressioni analitiche della velocità e accelerazione del corsoio. Il giunto di Cardano. Manipolatore per Robot.

Le trasmissioni meccaniche: ruote dentate, cinghie, camme.

Richiami di dinamica. Forze di inerzia, energia cinetica, masse di sostituzione; equazioni fondamentali della dinamica delle macchine.

Dinamica dei manovellismi di spinta e del quadrilatero articolato. Equilibrio dinamico di una macchina alternativa.

Dinamica degli impianti funzionanti in condizione di regime periodico. Definizione del grado di irregolarità; calcolo del momento di inerzia e delle dimensioni principali del volano.

Vibrazioni di sistemi ad un grado di libertà.

Dinamica dei rotori. Squilibrio statico e dinamico; equilibratura di un rotore, velocità critiche.

MACCHINE

Macchine a vapore. Richiami sulla trasmissione del calore. Diagrammi di stato del vapor d'acqua. Generatori di vapore. turbine a vapore ad azione e a reazione. La regolazione delle turbine a vapore. I cicli degli impianti a vapore.

MOTORI ALTERNATIVI A COMBUSTIONE INTERNA. Cicli e rendimenti. Architettura e cenni sui problemi di progettazione. L'accensione e la combustione. I carburatori e gli apparati ad iniezione elettronica. La regolazione. I motori Diesel. I motori a due tempi. La sovralimentazione.

Turbine a gas. I componenti delle turbine a gas. Gruppi turbogas a ciclo semplice e con recupero; relativi bilanci energetici. La regolazione delle turbine a gas. I gruppi su due assi.

Cicli con più compressioni e più espansioni. Gruppi di sovralimentazione per motori alternativi. Le turbine a gas nell'impiego aeronautico e industriale.

Testi consigliati:

E. FUNAIOLI, A. MAGGIORE, U. MENEGHETTI, *Meccanica applicata alle macchine*, Ed. Patron - Vol. I e II.
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 frigorifere*, Ed. Pitagora.

Esercitazioni: alcuni approfondimenti su argomenti del corso. Esempi ed applicazioni numeriche.
Propedeuticità consigliate: Fisica tecnica.
Esami: L'esame è costituito da una prova orale.

1381
MECCANICA RAZIONALE
Docenti: **Pier Paolo Abbati Marescotti** prof. ord. (A-D, Elettrici)
Alberto Strumia prof. ass. (E-Q)
Barbara Lazzari 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. Il corso intende promuovere una più ampia conoscenza e padronanza dei modelli matematici per i sistemi in questione, addestrando insieme ad un loro uso consapevole ed efficace nella soluzione di problemi.

Programma

Metodi e concetti fondamentali della meccanica newtoniana. (Richiami e complementi) — Rappresentazione delle grandezze cinematiche e dinamiche — Leggi di Newton — Sistemi di vettori applicati: equivalenza, riduzione — Sistemi paralleli, centro; baricentri — Sistemi di forze: potenza, lavoro, potenziale.

Meccanica newtoniana dei sistemi — Teoremi della quantità di moto, del momento della q.d.m. e dell'energia cinetica; integrali primi corrispondenti — Equazioni cardinali della statica — Sistemi vincolati: classificazione dei vincoli — Sistemi rigidi: cinematica rigida generale e piana; momenti d'inerzia, ellissoide e matrice d'inerzia — Reazioni vincolari: vincoli di contatto puntuale fra corpi rigidi, leggi sperimentali dell'attrito ra-

dente e di giro; vincoli ideali, principio dei lavori virtuali — Moti relativi: composizione delle velocità e delle accelerazioni, equazioni del moto e dell'equilibrio rispetto ad un riferimento non inerziale — Forza d'inerzia, principio di D'Alembert, equazione simbolica della dinamica.

Meccanica analitica — Spazio delle configurazioni, variabili lagrangiane, equazioni di Lagrange del moto e dell'equilibrio dei sistemi olonomi — Potenziale generalizzato. Funzione di dissipazione — Integrali primi: coordinate cicliche, funzione di Routh, moti stazionari. Variabili canoniche, spazio delle fasi, equazioni di Hamilton.

Stabilità — Stabilità dell'equilibrio: funzione e criterio di Liapunov — Sistemi conservativi: criterio di Lagrange-Dirichlet, criteri d'instabilità — Stabilità asintotica: criteri di Liapunov e di La Salle-Krasovski; dominio di attrazione — Effetti delle forze dissipative e giroscopiche — Stabilità del movimento: caso dei moti periodici e stazionari — Stabilità Orbitale — Linearizzazione: esponenti caratteristici, teorema di Liapunov, condizione di Routh-Hurwitz.

Oscillazioni — A) *Sistemi con un grado di libertà.* Sistemi autonomi: piano di Poincaré, curve caratteristiche, separatrici, punti critici — Diagramma di biforcazione per i sistemi dipendenti da un parametro — Cicli limite, soluzioni periodiche dei sistemi non conservativi; metodi approssimati per lo studio dei sistemi non lineari — Oscillazioni lineari libere e forzate, impedenza meccanica, risonanza nei sistemi non lineari — Sistemi non autonomi: risonanza parametrica. — B) *Sistemi con più gradi di libertà.* Piccole oscillazioni nei sistemi conservativi, frequenze caratteristiche, modi principali, battimenti; piccole oscillazioni intorno a moti stazionari — Oscillazioni lineari forzate; risonanza e antirisonanza.

Testi consigliati:

AGOSTINELLI-PIGNEDOLI, *Meccanica Razionale*, Zanichelli.
GRAFFI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Patron.
GALLAVOTTI, *Meccanica elementare*, Boringhieri.
A. STRUMIA, *Meccanica Regionale*, CUSL.

L'*esame* è costituito da una prova scritta ed una orale.
Propedeuticità consigliate: Analisi matematica I e II, Geometria e Algebra, Fisica I.
Esercizi: F. BAMBI, M. BENATI, A. MORRO, *Problemi di meccanica razionale*, ECIG.

5702
MICROELETTRONICA
Docente: **Massimo Rudan** prof. straord.
(per Elettronici, senza scelta di indirizzo, e per l'indirizzo Microelettronica)

Finalità del corso:

Il corso si propone di illustrare il funzionamento dei dispositivi a semiconduttore nonché le moderne tecniche di fabbricazione e le modalità di funzionamento dei dispositivi

e dei circuiti integrati, quale premessa indispensabile per una loro corretta progettazione, scelta ed utilizzazione.

1. *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. Modello matematico dei dispositivi e parametri fisici notevoli.

2. *Dispositivi elementari*

Giunzione *p-n* all'equilibrio: caratteristica statica, capacità di barriera. Giunzione metallo-semiconduttore. JFET: ipotesi del profilo graduale e calcolo delle caratteristiche statiche. Circuito equivalente. Fenomeni di instabilità nella giunzione *p-n*. Transistore bipolare: derivazione del modello di Ebers e Moll. Effetti *Emitter crowding* ed *Early*. Il transistore bipolare in condizioni dinamiche: modello a controllo di carica. Il condensatore MOS: soluzione dell'equazione di Poisson nel caso monodimensionale e uniforme. Condizioni di accumulazione, svuotamento, debole e forte inversione. Capacità differenziale del condensatore MOS. Transistore MOS: calcolo delle caratteristiche statiche, circuito equivalente.

3. *Processi tecnologici*

Proprietà chimico-fisiche e caratteristiche elettriche del silicio per uso elettronico. Tecniche di produzione del silicio monocristallino. Ossidazione termica: modello di Deal e Grove della cinetica di ossidazione. Difetti cristallografici: difetti di punto, di linea, di superficie e di volume. Diffusione termica: calcolo della soluzione dell'equazione della diffusione. «Predep» e «drive-in». Teoria microscopica del coefficiente di diffusione. Epitassia: cinetica dell'epitassia da fase vapore e casi limite. Interdiffusione dei droganti durante l'epitassia. Litografia: riduzione fotografica, proprietà del *fotoresist*, fotolitografia a contatto, in prossimità e a proiezione. Fenomeni di diffrazione. Impianto ionico: schema a blocchi, metodi di scansione, fenomeni di incanalamento, distribuzione finale delle impurezze.

4. *Tecnologia planare e progettazione assistita del calcolatore*

Introduzione alla tecnologia planare. Strutture elementari. Processi bipolare, MOS convenzionale, isoplanare, isoplanare ROI; processi CMOS. Regole di *scaling*. Prospettive della VLSI. Introduzione alla progettazione assistita da calcolatore (CAD). Simulazione «top-down» e «bottom-up». Esempi di simulazioni di processo, di dispositivo e di circuito.

5. *Sensori ottici a stato solido*

Cenni sull'assorbimento di radiazione da parte di un semiconduttore. Sensori elementari: fotoresistore, fotodiodo (funzionamento continuo e impulsato), fotocondensatore MOS, fototransistore MOS e bipolare. Dispositivi a trasferimento di carica (CCD, CTD) e ad iniezione di carica (CID). Sensori complessi mono- e bidimensionali. Cella solare.

6. *Tecniche di discretizzazione e soluzione numerica delle equazioni dei dispositivi*

Nell'ambito di questa parte del corso vengono svolte esercitazioni al calcolatore sull'uso di programmi di CAD durante le quali viene sviluppato il progetto di un dispositivo.

Bibliografia

G. Soncini, *Tecnologie Microelettroniche*, Boringhieri, 1986.
Fotocopie di articoli e appunti redatti a cura del docente.

Tesi. Le tesi di laurea si svolgono di regola presso il Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistematica. Sono anche disponibili tesi più orientate verso la tecnologia da svolgersi, previo accordo, presso il Laboratorio CNR-LAMEL di Bologna. Per studenti meritevoli che intendono svolgere tesi di maggior impegno sono disponibili «premi di laurea» messi a disposizione da Industrie o Enti di ricerca nazionali operanti nel settore della Microelettronica.

2191
MICROONDE
Docente: **Alessandro Lipparini** prof. ass.

Il corso si propone di fornire le metodologie per lo studio della propagazione guidata ad altissima frequenza e per l'analisi ed il progetto di circuiti operanti nella gamma di frequenze delle microonde e delle onde millimetriche. Un particolare riferimento viene fatto al progetto con l'ausilio del calcolatore (CAD) di circuiti integrati a microonde, di cui vengono introdotti concetti e mostrati esempi.

Programma

Propagazione guidata — Fondamenti della teoria della propagazione nelle strutture cilindriche: metodo generale per la determinazione di un insieme completo di soluzioni. Modi e loro classificazione. Caratteristiche dei modi TEM, TE e TM. Esempi di determinazione di un insieme completo di modi: studio delle guide d'onda rettangolari e circolari. Ortogonalità tra modi. Conversione di modo e sue conseguenze. Campo di radiazione. Modi ibridi in strutture non omogenee. Calcolo delle perdite nelle strutture cilindriche. Velocità di gruppo. Descrizione circuitale della propagazione TEM e quasi-TEM. Linea equivalente di un modo. Definizione generale di rete elettrica. Reti lineari a costanti distribuite. Linee simmetriche: modi pari e dispari. Procedimenti per il calcolo del modello capacitativo. Caratteristiche tecniche e impiego dei più comuni mezzi trasmissivi. Evoluzione nella realizzazione di circuiteria a microonde. La microstriscia.

Componenti e sottosistemi — Strutture elementari. Discontinuità delle strutture TEM. Filtri a costanti distribuite. Cavità risonanti. Circolatori. Accoppiatori direzionali e loro progetto. Dispositivi e semicondutture per le altissime frequenze (MESFET). Amplificatori: in regime lineare e non lineare. Circuiti non lineari: oscillatori, mixer, moltiplicatori e divisori. Concetti fondamentali relativi all'analisi lineare e non lineare di circuiti a microonde e al loro progetto mediante ottimizzazione: tecniche di computer-aided design. Cenni sul progetto statistico.

Testi consigliati:

V. RIZZOLI, A. LIPPARINI, *Propagazione elettromagnetica guidata*, Società Editrice Esculapio, Bologna.

G.C. CORAZZA, A. MANIMPIETRI, C. MONTEBELLO, *Circuiti a microonde*, Edizioni Pàtron, Bologna.
R.E. COLLIN, *Field Theory of Guided Waves*, McGraw-Hill Book Company, New York.
R.E. COLLIN, *Foundations for Microwave Engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York.
S.A. MAAS, *Nonlinear Microwave Circuits*, Artec House, Boston.

L'*esame* consiste in una prova orale.

Le *esercitazioni* comprendono anche una visita ai laboratori.

Propedeuticità consigliate: Campi elettromagnetici e Circuiti I, Comunicazioni elettriche I.

Testi di Laurea. Prevalentemente nell'ambito del CAD di circuiti a microonde. Modellistica di componenti passivi a microstriscia e dispositivi a semiconduttore. Analisi e progetto con l'ausilio del calcolatore di circuiti integrati lineari e non lineari.

1386

MISURE ELETTRICHE

Docenti: **Mario Rinaldi** prof. ord. (IV anno A-K)
Domenico Mirri prof. ass. (IV anno L-Z)
Antonio Menchetti prof. ass. (V anno)

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 trasdu-

zione. 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.

10389
PROPAGAZIONE
Docente: **Gabriele Falciasecca** 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 nelle guide metalliche e nelle linee di trasmissione reali: modelli di canale. Propagazione in guida dielettrica e in fibra ottica: modelli di canale.

II 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.

III parte - Adattamento della forma d'onda del segnale al modello di canale considerato: criteri per la scelta dei metodi di mo-demodulazione, di accesso e di codifica. Contromisure adattative.

IV 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.

V parte - Esempi di applicazioni: sistemi in fibra ottica, il sistema televisivo, il sistema radiomobile paneuropeo GSM, sistemi cordless.

877
RADIOTECNICA (vedi Sistemi di telecomunicazione)
Docente: **Oreste Andrisano** prof. straord.

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 trabocco. 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 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. LE MOLI, *Telematica: architettura, protocolli, servizi*, ISEDI, A. Mondadori, Milano.

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. straord. (inc.) (L-Z)

Finalità del corso

Introdurre le tecniche di descrizione dei sistemi digitali e presentare i modelli matematici che consentono di progettarne 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 tecniche di descrizione per sistemi complessi.

Progetto logico e progetto architettonico dei sistemi per l'elaborazione dell'informazione. Elaborazione sequenziale. Elaborazione parallela.

Testi consigliati:

Dispense redatte dal docente.
W.I. FLETCHER, *An Engineering Approach To Digital Design*, Prentice-Hall, 1980.
M. MORRIS MANO, *Digital Design*, Prentice-Hall, 1984.
A.E.A. ALMAINI, *Electronic Logic Systems*, Prentice-Hall, 1986.

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.

Propedeuticità consigliate. Elettronica applicata I, Teoria dei sistemi.

Indirizzo delle *tesi di laurea*: Tecniche di progettazione e campi di applicazione dei calcolatori elettronici.

884
RICERCA OPERATIVA
Docente: **Silvano Martello** prof. straord. (inc.)

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.

2. *Programmazione lineare*
   — La programmazione matematica e i problemi di programmazione convessa.
   — Forma generale, canonica e standard di un problema di programmazione lienare. Algoritmo del simplesso: 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 simplesso duale, algoritmo primale-duale.

3. *Programmazione lineare intera*
   — Unimodularità; algoritmi con piani di taglio ed algoritmi enumerativi.
   — Programmazione lineare intera: metodo di Goimory, branch-and-bound.
   — Programmazione lienare mista e binaria; problema «kanpsack» 0-1.

4. *Teoria dei grafi*
   — Richiami sulle definizioni fondamentali.
   — Circuiti hamiltoniani: algoritmo enumerativo.
   — Problemi di flusso: algoritmo di Fort e Fulkerson per il problema del flusso massimo, trasformazioni per altri problemi di flusso

5. *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:

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: è prevista una prova scritta ed una orale.
Indirizzo delle *Tesi di Laurea*: problemi di ottimizzazione combinatoria.

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.
2 — La statica delle travi.
3 — Nozioni di geometria delle masse.
4 — Elementi di meccanica dei solidi deformabili.
4.1 — La cinematica dei piccoli spostamenti: problema locale e generale.
4.2 — La statica delle tensioni. Il concetto di tensione. Problema locale: il tensore degli sforzi. Problema generale.
4.3 — Legami costitutivi nei solidi isotropi ad elasticità lineare: legge di Hooke. Equazioni dell'equilibrio elastico.
4.4 — Criteri energetici. Il principio dei lavori virtuali. Potenziale di elasticità e teoremi che ne derivano.
4.5 — Problemi di sicurezza. Criteri di rottura e di snervamento.
4.6 — Applicazione della meccanica dei solidi al problema di S. Venant.
5 — Lo studio delle travature.
6 — Nozioni sulla stabilità dell'equilibrio elastico.

N.B. Il corso verrà integrato da alcuni argomenti, a carattere seminariale, che fanno parte del programma ed i cui titoli saranno precisati durante lo svolgimento del corso.

Testi consigliati:

E. D'ANNA, *Appunti di Scienza delle Costruzioni*, Bologna, CLUEB.
M. CAPURSO, *Scienza delle costruzioni*, Bologna, Pitagora.
O. BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, Vol. I, Bologna, Zanichelli.
A. DI TOMMASO, *Fondamenti di Scienza delle costruzioni*, Vol. I, Pàtron, Bologna.
E. VIOLA, *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni*, Pitagora, Bologna.
T. CAVALLINA, *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni*, Bologna, CLUEB.

Gli *esami* constano attualmente di una sola prova orale.

Indirizzo delle *Tesi di Laurea*: Essenzialmente problemi connessi con il calcolo automatico delle strutture.

10392
SISTEMI DI ELABORAZIONE
Docente: **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/0.

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.

KOOGE, *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. ass.

Il corso si pone l'obiettivo di fornire i fondamenti teorici per il dimensionamento di massima dei sistemi di comunicazioni. L'impostazione del corso è orientata sia ai tradizionali sistemi analogici, sia ai sistemi digitali che sono inquadrati nella architettura della rete integrata nei servizi e nelle tecniche.

Vengono affrontare le problematiche di base della trasmissione su canale passabanda e forniti i primi elementi relativi ai protocolli di accesso multiplo di vari utenti ad una risorsa comune.

Il corso è proposto a tutti gli allievi del settore dell'informazione (Ingegneria delle Telecomunciazioni, Ingegneria Elettronica, Ingegneria Informatica).

1. *Generalità sui sistemi di telecomunicazione*: inquadramento nella rete di comunicazioni numerica integrata nei servizi e nelle tecniche. Esempi più significativi: reti radiomobili, sistemi in fibra ottica, sistemi via satellite, ponti radio, reti locali via radio, radiodiffusione terrestre e via satellite.

2. *La cifra di impianto*: i principali parametri che, caratterizzano il sistema di telecomunicazioni. Qualità e disponibilità. Primo confronto tra sistemi analogici e sistemi digitali. L'efficienza spettrale.

3. *Segnali passabanda digitali*: calcolo degli spettri di potenza di oscillazioni QAM, PSK, CPM. Applicazioni: il recupero dei sincronismi di portante e di simbolo.

4. *Sistemi di modulazione digitali su canale passabanda*: confronto di prestazioni in termini di compromesso efficienza spettrale-potenza trasmessa. Esempi: sistemi M-QAM, PSK, CPM. Comportamento in presenza di rumore termico, interessenza intersimbolo, interferenza eterocanale e isocanale.

5. *Sistemi di modulazione analogici su canale passabanda*: rapporto segnale/rumore in banda base. Confronto di prestazioni. Effetto di soglia in modulazione di frequenza. Circuiti ad aggancio di fase e relative applicazioni.

6. *Schemi a blocchi dei trasmettitori e ricevitori per oscillazioni modulate*: esempi.

7. *Effetti delle nonlinearità*: sistemi in banda base ed a radiofrequenza. Conversione ampiezza/ampiezza ed ampiezza/fase. Cenni sui metodi di predistorsione nei sistemi digitali. Il rumore di intermodulazione. Criteri di progetto di sistemi a modulazione di frequenza con enfasi.

8. *Caratterizzazione della tratta radio*: richiami sulle antenne. Cenni sulla propagazione troposferica. Effetto dei cammini multipli: fading piatto e fading selettivo. Disturbi captati dall'antenna ricevente.

9. *Protocolli di accesso multiplo*: tecniche di assegnazione casuale, fissa e su domanda. Esempi.

10. *Alcune applicazioni, con relativi calcoli di progetto, scelte tra le seguenti*:

A. Ponti radio per la rete fissa e per la rete di connessione delle stazioni base nella rete radiomobile.

B. Sistemi di radiodiffusione diretta da satellite (DBS): dimensionamento di massima della stazione di terra. Sistemi analogici. Cenni sull'evoluzione verso i sistemi HDTV.

C. Reti di comunicazione via satellite: collegamenti internazionali, regionali e nazionali. Progetto di massima del collegamento on ITALSAT.

D. Reti radiomobili: sistemi cellulari, cordless, reti radio indoor.

E. Sistemi in fibra ottica.

Esercitazioni in laboratorio: dimostrazioni, su banco di misura autorizzato, del comportamento di sistemi di modulazione numerici.

Esercitazioni con il personal computer: calcoli di progetto di sistemi di trasmissione digitali.

Tesi: di tipo sperimentale (da sviluppare presso il Laboratorio del D.E.I.S. o presso aziende di Telecomunicazioni), o di tipo teorico (da sviluppare con i mezzi di calcolo del D.E.I.S. o della Facoltà).

Testi consigliati:

Appunti tratti dalle lezioni.

Dispense di esercitazioni con il p.c.
TAUB SCHILLING, *Principles of Communication Systems*, Second Edition, McGraw-Hill.
SCHWARTZ, *Information, Transmission, Modulation and Noise*, McGraw-Hill.
A. BRUCE CARLSON, *Communication Systems*, Third edition, McGraw-Hill.
Digital Communications, K. Feher, Ed. Prentice-Hall Inc., USA.

3980
SISTEMI PER L'ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE

(v. Calcolatori elettronici I)

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.

2044
STRUMENTAZIONE ELETTRONICA
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 e loro 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 una analizzatore digitale. *Band selectable analysis. Time window*. Generatori di rumore. Tecniche di media. *Real time bandwidth*.

Alcuni circuiti elettronici integrati di uso frequente nella strumentazione. Amplificatori operazionali: caratteristiche e prestazioni. Amplificatori per strumentazione. Amplificatori a transconduttanza. Elementi non lineari (convertitori logaritmici, moltiplicatori analogici). Riferimenti di tensione. *Sample and hold*. Convertitori D/A e A/D.

Il rumore: sua caratterizzazione e misura. I processi stocastici. Rumore Jhonson, shot, burst e flicker. Densità spettrale di potenza nei diversi casi. 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.

Tecniche per il miglioramento del rapporto segnale/rumore negli strumenti di misura. Filtraggio. Modulazione e demodulazione. Integratori commutati. Filtri correlatori. Amplificatori *lock-in*. Tecniche di media: *Box-Car integrator*.

Reti di strumenti controllati da calcolatore. Problemi di interfacciamento. L'interfaccia IEEE 488. Problemi di gestione e di trasmissione dei dati. Altri tipi di connessioni.

Esempio di strumentazione computerizzata. Cenni sui problemi del collaudo dei circuiti integrati. Sistemi per il calcolo dei circuiti integrati (*Automated Test Equipment*). Caratteristiche ed architettura dello strumento. Funzionamento dello strumento ed esempi d'uso.

Esercitazioni. Sono previste due diverse esercitazioni, 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, ...) ed una sulle macchine per il collaudo dei circuiti integrati (analisi di un circuito integrato e suo collaudo parametrico e funzionale).

Esami. L'esame (orale) prevede anche, per chi ha svolto le esercitazioni, la discussione di una relazione sull'esercitazione di laboratorio svolta.

Testi consigliati:

Appunti forniti dal docente.

2011
TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE
Docente: **Giannino Praitoni** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Trasporti)

1031
TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI
Docente: **Alessandro Orlandi** prof. ord.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Trasporti)

5574
TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO
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

1. *Controllori logici programmabili*:
Caratteristiche Hardware/Software. Linguaggi di programmazione standard. Il GRA-

FCET come linguaggio ad alto livello per logiche sequenziali. Definizione delle specifiche di un sistema di controllo industriale; preparazione della esercitazione di laboratorio.

2. *Introduzione al controllo assi*:
Struttura in cascata del controllo. Caratteristiche dei motori C.C. e C.A. e relativi schemi di controllo di coppia. Generazione di traiettorie coordinate velocità/posizione in presenza di vincoli.

3. *Alcuni trasduttori tipici nei sistemi di automazione*:
Posizione: potenziometro, resolver, inductosin, encoder.
Velocità: dinamo, resolver, encoder.
Deformazione, pressione, forza: estensimetri.
Temperatura: termocoppie, termoresistenze, termistori.

4. *Elaborazione analogica dei segnali*:
Amplificazione di segnali in condizioni «difficili». Filtraggio analogico. Realizzazione di filtri attivi.

5. *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.

6. *Implementazione digitale di regolatori e filtri*:
Forme implementative digitali: dirette, in cascata, in parallelo. Il problema della messa in scala e delle rappresentazioni numeriche.

7. *Affidabilità*:
Terminologia e definizioni. Norma MIL 217-D per il calcolo del tasso di guasto dei componenti elettronici. Sistemi complessi ed interconnessi. Sistemi ridondati.

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: Completano il corso due esercitazioni. La prima riguarda la progettazione e la realizzazione del sistema di controllo con PLC di una apparecchiatura industriale (simulata o in scala). La seconda si riferisce alla simulazione del sistema di controllo di un motore brushless.

Esami: Lo svolgimento della prova di esame consiste, normalmente, nella discussione di una relazione sull'esercitazione di laboratorio svolta, e in domande ed esercizi sugli argomenti trattati nel corso.

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
Docenti: **Roberto Guidorzi** prof. ord. (Informatici A-K)
Sergio Beghelli prof. ass. (Informatici L-Z)

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 dimatrice 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 dellos tato 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.

E. Fornasini, G. Marchesini, *Appunti di Teoria dei Sistemi*, Edizioni Libreria Progetto, Padova, 1988.

R. Guidorzi, *Teoria dei Sistemi: Esercizi e Applicazioni*, Zanichelli, Bologna, 1991.

G. Marro, *Teoria dei Sistemi e del Controllo*, Zanichelli Editore, Bologna, 1989.

S. Rinaldi, *Teoria dei Sistemi*, Hoepli, Milano, 1973.

A. Ruberti, A. Isidori, *Teoria dei Sistemi*, Boringhieri, 1979.

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.

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

196 Controlli automatici
205 Costruzioni elettromeccaniche
6797 Fisica tecnica
10388 Progettazione automatica dell'ingegneria elettrica
v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica

9430
CALCOLO TERMOMECCANICO DEI COMPONENTI NUCLEARI
Docente: **Francesco Cesari** prof. ass.

Il corso si propone di fornire allo studente i metodi di calcolo più idonei per l'analisi termostrutturale dei componenti meccanici di un impianto nucleare. Allo scopo viene esaminato il metodo oramai più diffuso per la soluzione approssimata dei sistemi di equazioni differenziali alle derivate parziali, detto metodo degli elementi finiti. Ad un esame teorico del metodo, che richiede una conoscenza approfondita del calcolo variazionale, seguono le applicazioni direttamente su calcolatore, con la generazione di programmi di calcolo 'ad hoc' in FORTRAN per l'analisi strutturale.

BIBLIOTECA INGEGNERIA BOLOGNA

Programma

1) *Analisi matriciale delle strutture*

Elementi di calcolo matriciale. Richiami di scienza delle costruzioni e teoria della elasticità. Equazione di equilibrio di singoli elementi di barra e trave: calcolo della matrice di rigidezza col metodo diretto. Equazione di equilibrio di una reticolare e di un telaio: assemblaggio delle equazioni degli elementi singoli. Esame di codici di calcolo 'su personal computer'.

2) *Risoluzione approssimata di sistemi di equazioni alle derivate parziali*

Formulazione differenziale: Il metodo delle differenze finite (MDF)
Formulazione variazionale: Il metodo degli elementi finiti (MEF)
Formulazione residuale: Il MEF e il metodo degli elementi di contorno (BIE).

3) *Convergenza ed errore del metodo degli elementi finiti*

Condizione di compatibilità. Errore di discretizzazione. Condizione necessaria per la convergenza. Considerazioni sul tipo di errore nei problemi strutturali col metodo degli spostamenti. Carattere della convergenza.

Elementi incompatibili. Condizioni di isotropia.

4) *Equazione di equilibrio nei problemi elastostatici*

Elementi isoparametrici per l'analisi di strutture piane e spaziali.
Analisi delle strutture inflesse. Esame di codici di calcolo 'su personal computer'.

5) *Analisi termica*

Equazione di equilibrio per problemi stazionari. Equazione di equilibrio per problemi transitori. Esame di codici di calcolo 'su personal computer'.

6) *Analisi dinamica*

Equazione di equilibrio per problemi lineari elastici. Calcolo delle frequenze proprie. Risposta di una struttura a carico armonico e impulsivo. Esame di codici di calcolo 'su personal computer'.

Testi consigliati:

1) F. Cesari, *Introduzione al metodo degli elementi finiti*, Pitagora 1984.
2) F. Cesari, *Analisi di problemi termici col metodo degli elementi finiti*, Pitagora 1982.
3) F. Cesari, *Metodi di calcolo nella dinamica delle strutture*, Pitagora 1983.

Vengono svolte *esercitazioni* su argomenti specifici (soluzione di grandi sistemi di equazioni lineari, metodi per imporre le condizioni di vincolo, elementi di programmazione in FORTRAN, stesura pratica di un programma per l'analisi di strutture con il metodo degli elementi finiti).

Esami orali con prova pratica.

Propedeuticità: Scienza delle costruzioni, Elementi di Ingegneria del Reattore Nucleare.

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

Materiali impiegati nelle principali filiere di reattori nucleari: materiali strutturali, combustibili, moderatori e refrigeranti. Materiali triziogeni.

Effetti termici delle reazioni e dei cambiamenti di stato. Problemi metallurgici e di compatibilità. Diagrammi di Ellingham.

I difetti di struttura nei materiali: Bordi di grano, dislocazioni e difetti di punto. Equilibrio termodinamico dei difetti. Tecniche di indagine.

La diffusione nei materiali. Leggi di Fick. Determinazione del coefficiente di diffusione. Difetti di punto e meccanismi atomici di diffusione. Random walk. Fattori di correlazione. Dipendenza della diffusività dalla concentrazione. Diffusione nei bordi di grano.

Dislocazioni e processi elementari di deformazione plastica. Incrudimento. Scorrimento viscoso. Correlazione fra struttura e proprietà meccaniche.

Danno di radiazione nei materiali. Energia di spostamento. Meccanismi di danno con neutroni veloci e termici. Spostamento per atomo. Il danno con acceleratori di ioni. Effetto Wigner. Effetti del danno di radiazione sulle proprietà meccaniche. Processi di diffusione in pila. Analisi della cinetica di rinvenimento del danno. Cinetica di rinvenimento e swelling nelle guaine degli elementi di combustibile nucleare. Rinvenimento Laser.

Termodinamica delle leghe. Modello quasichimico. Diagrammi Entalpia libera/composizione, ed equilibrio tra le fasi. Diagrammi di stato. Determinazione di proprietà termodinamiche dai diagrammi di stato. Stechiometria e potenziale chimico nei composti. Ossido di uranio e ossidi misti uranio/plutonio. Tecnologie di preparazione e controllo della stechiometria.

Effetti del burn-up sulla stechiometria e la compatibilità con i materiali di guaina.

Stabilità dei materiali polifasici. Fattori che controllano la solubilità. Effetto Gibbs-Thomson. Coalescenza e deterioramento delle proprietà meccaniche. Materiali per alte temperature.

Trasformazioni di fase. Nucleazione omogenea ed eterogenea. Precipitazione coerente ed incoerente. Effetti sulle proprietà meccaniche. Curve TTT. Materiali amorfi. Comportamento dell'elemento di combustibile sotto irraggiamento.

Il corso è integrato da visite guidate presso il CNR a macchine acceleratrici di ioni o di elettroni, generatori laser di potenza, microscopi elettronici.

Sono disponibili, per la maggior parte degli argomenti, appunti corretti.

Testi consigliati per approfondimenti ed estensioni:

S. GLASSTONE, A. SESONSKE, *Nuclear Engineering*, Van Nostrand, Reinhold, 1981, Cap. VII e VIII.

L. BRUZZI, G. CICOGNANI, G. DOMINICI, *Il ciclo del combustibile dei Reattori Nucleari*, CNEN, 1981.

J.C. ANDERSON, K.D. LEAVER, J.M. ALEXANDER, R.D. RAWLINGS, *Scienza dei materiali*, Ed. Sansoni, 1980.

Tesi di Laurea. Problematiche poste dal trattamento di materiali con fasci di ioni, elettroni o laser: Tecniche sperimentali, danno di radiazione e suo rinvenimento. Composizione, struttura, proprietà e stabilità di materiali amorfi semiconduttori, e superconduttori ceramici.

6467

CINETICA E CONTROLLO DEL REATTORE NUCLEARE

Docente: **Tullio Trombetti** prof. ord.

Il corso ha lo scopo di fornire gli elementi fondamentali relativi alla dinamica neutronica e agli altri aspetti del comportamento dinamico del reattore nucleare, ai meccanismi di interazione fra i principali fattori che intervengono nella determinazione di tale comportamento (cinetica neutronica, controreazioni di reattività dovute ai più importanti effetti fisici, sistema di controllo...), allo studio lineare e non lineare di sistemi dinamici; ai metodi perturbativi per l'analisi di sensibilità; alle analisi di affidabilità e rischio su basi probabilistiche.

Programma

Parametri cinetici della reazione a catena controllata. Derivazione integrale delle equazioni della cinetica neutronica secondo il modello puntiforme. Proprietà e metodi di risoluzione. Sistemi dinamici rigidi (stiff): metodi di analisi.

Metodi statici e dinamici per la determinazione sperimentale di reattività. Calibrazione di barre di controllo e avviamento di un reattore presso il Laboratorio di Ingegneria Nucleare.

Leggi di controreazioni di reattività. Escursioni di potenza. Analisi di stabilità lineare. Sistemi di controllo. Teoria e calcolo delle barre di controllo. Il problema dello Xeno. I reattori a sicurezza passiva.

Cinetica spazio-energetica. Teoria delle perturbazioni. Calcolo delle perturbazioni di reattività e analisi di sensibilità della risposta di un sistema alle variazioni di un insieme di parametri o dati.

Elementi di teoria delle probabilità. Probabilità condizionate. Variabili e vettori aleatori. Distribuzioni di probabilità più importanti. Fonti e metodi di trattamento di dati di guasto e rischio. Analisi di affidabilità di sistemi. Alberi di guasto e alberi di eventi.

Testi consigliati:

T. TROMBETTI, *Introduzione alla cinetica neutronica*, CLUEB.
T. TROMBETTI, *Elementi di controllo del reattore nucleare*, CNEN.
D.L. HETRICK, *Dynamics of nuclear reactors*, University Press, Chicago.
M.A. SCHULTZ, *Control of nuclear reactors and power plants*, McGraw-Hill, N.Y.

Le *esercitazioni* in aula riguardano principalmente il calcolo degli elementi di controllo, l'analisi del comportamento dinamico di un sistema (reattore) lineare o non lineare; l'applicazione di metodologie probabilistiche all'analisi di affidabilità e rischio. Le esercitazioni sperimentali riguardano la calibrazione di barre di controllo e le procedure di avviamento di un reattore.

Gli *esami* consistono in una prova orale e nella discussione delle esercitazioni svolte nel corso dell'anno.

4127
COMPLEMENTI DI NEUTRONICA
Docente: **Vincenzo Molinari** prof. ord.

Il corso si propone un duplice scopo: 1) fornire gli elementi di meccanica statistica dei sistemi non in equilibrio al fine di approfondire la conoscenza degli aspetti fondamentali dei processi di trasporto; 2) trattare alcuni problemi di Fisica del Reattore necessari per una migliore comprensione dei fenomeni fisici connessi con la progettazione neutronica di un reattore nucleare.

Programma

Elementi di meccanica statistica dei processi di trasporto.

Spazio delle fasi e insiemi rappresentativi. Densità di probabilità nello spazio delle fasi. Funzioni di distribuzione ridotte. Valori medi. Teorema di Liouville. Equazioni di Liouville. Gerarchia di equazioni di B.B.G.K.Y. Prima e seconda equazione della gerarchia. Equazione di Boltzmann senza collisioni. Equazioni di Vlasov. Dinamica degli urti elastici binari e leggi di conservazione. Descrizione dell'urto nel sistema di riferimento del centro di massa. Sezione d'urto differenziale e parametro d'urto. Vari tipi di potenziali di interazione. Equazione di Boltzmann. Teorema H. Distribuzione Maxwelliana. Fattore di Boltzmann. Equazione di Fokker-Planck. Flusso di proprietà molecolari. Equazioni macroscopiche. Equazioni di continuità, di conservazione della quantità di moto e dell'energia. Equazioni di Eulero e di Navier-Stokes. Legge di Ohm generalizzata. Applicazioni delle equazioni macroscopiche e dell'equazione di Vlasov allo studio di alcuni problemi di fisica del plasma (frequenza di plasma, lunghezza di Debye, propagazione di onde in un plasma).

Introduzione ai Reattori a fusione e considerazioni generali sui principali tipi di macchine.

Termalizzazione dei neutroni.

Neutroni termici e loro proprietà caratteristiche. Sezioni d'urto efficaci. Principio del «bilancio dettagliato». Tecnica delle sorgenti pulsate. Distorsione dello spettro dei nuetroni termici per effetto della diffusione. Tecnica delle sorgenti stazionarie e avvelenamenti progressivi. Tecnica delle sorgenti pulsate per mezzi moltiplicanti. Costante di decadimento dei neutroni pronti e reattività di un sistema moltiplicante. Approccio all'equilibrio di una popolazione di neutroni. Calcolo della costante di termalizzazione sia per un mezzo infinito sia per un mezzo finito.

Testi consigliati:

1) Dispense del Docente.
2) E. AMALDI, *Handbuch der Physik*, vol. 38/II, Springer Verlag, Berlino, 1959.
3) J.L. DELCROIX, *Physique des Plasmas*, Dunod, Parigi, 1963.

Propedeuticità consigliate: Fisica nucleare, Fisica tecnica, Problemi matematici del reattore nucleare.

1384
COSTRUZIONE DI MACCHINE (per Nucleari)
Docente: **Sergio Curioni** prof. ord.

Finalità del corso:

Il corso si propone di mettere l'allievo in grado di calcolare gli organi di macchina ed i principali componenti meccanici della impiantistica industriale.

Programma

Principi fondamentali: equilibrio statico, problemi staticamente indeterminati, richiami sulla geometria delle masse, deformata di una trave, il cerchio di Mohr.

Tensioni dovute a carichi variabili: materiali duttili e materiali fragili, valutazione dei criteri di rottura, fatica, fattori di concentrazione delle tensioni.

Materiali: materiali e terminologia dei materiali, ghisa, acciai, metalli leggeri, materie plastiche.

Alberi di trasmissione: materiali, carichi torsionali e flessionali, criteri di resistenza, concentrazione delle tensioni, alberi non circolari.

Accoppiamento di albero e mozzo: per attrito, di forma, di forma precaricato.

Accoppiamento di albero con albero: giunti rigidi ed elastici.

Molle: differenti tipi di molle e loro caratteristiche principali, calcolo statico, calcolo a fatica, energia immagazzinata.

Collegamenti a vite: impiego, materiali, forme di filettatura, sollecitazione e calcolo, sollecitazioni dinamiche.

Collegamenti per saldatura, per brasatura ed incollaggio, per chiodatura, con perni e spine.

Accoppiamento a rotolamento: sollecitazione, carico ammissibile, cuscinetti volventi e loro calcolo.

Accoppiamento a strisciamento: fondamenti della teoria della lubrificazione, calcolo dei cuscinetti radiali ed assiali.

Elementi per il calcolo delle piastre e dei recipienti in pressione.

Meccanica della frattura lineare elastica: concetti fondamentali.

Vengono svolte *esercitazioni* sul calcolo di organi di macchina e componenti specifici. Alcune esercitazioni sono inoltre indirizzate a fornire agli allievi una specifica conoscenza nel metodo numerico degli elementi finiti per il calcolo di componenti con l'utilizzo del calcolatore.

Propedeuticità consigliate: Scienza delle costruzioni, Meccanica applicata alle macchine.

Esame scritto ed orale.

Testi consigliati

M.S. Spotts, *Design of Machine Elements*, Ed. Prentice-Hall, Inc., 1985.
G. Niemann, *Elementi di Macchine*, Vol. 1, Ed. Scienza e Tecnica, Milano, 1983.
F. Cesari, *Introduzione al Metodo degli Elementi Finiti*, Ed. Pitagora, Bologna, 1989.

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.

9041

ELEMENTI DI FISICA E DI INGEGNERIA DEI PLASMI
(Magnetofluidodinamica applicata)
Docente: **Carlo Angelo Borghi** prof. ass.

Il corso si propone di fornire gli strumenti fondamentali per lo studio dei plasmi e le conoscenze di base delle tecnologie ad essi relative. Nella prima parte del corso viene trattata la fisica dei plasmi utilizzati nella ricerca applicata e nella tecnica. Vengono quindi esaminate, con particolare riferimento agli aspetti ingegneristici, le principali applicazioni.

Programma

Fisica del Plasma: moto di una particella carica in un campo elettromagnetico, invarianza del momento magnetico e specchi magnetici, lunghezza di Debye e potenziale schermato di Coulomb, processi radiativi e collisionali, equilibrio termodinamico nei plasmi, conducibilità elettrica di un gas ionizzato, approssimazione MHD.

Conversione magnetofluidodinamica dell'energia: principio di funzionamento del generatore MHD, leggi fondamentali della conversione, la conducibilità del non equilibrio, elettrodinamica del generatore, fenomeni di perdita, il topper MHD ed il principio del repowering, elementi di progetto.

Fusione termonucleare controllata: principio fisico e caratteristiche principali dei plasmi fusionistici, bilancio energetico e legge di Lawson, confinamento magnetico ed equilibrio del plasma, configurazioni lineari e toroidali, instabilità, metodi di riscaldamento del plasma, la macchina tokamak ed il reattore a fusione.

Tecnologie a plasma: plama jet e torce a plasma, applicazioni alla chimica e reattori a plasma, processi metallurgici e fornaci a plasma, trattamento delle superfici, plasma spray e plasma coating, plasma etching nella produzione di semiconduttori.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica o Elettrotecnica I.

Testi consigliati:

Appunti del corso.
J.L. SHOHET, *The Plasma State*, Academic Press, New York, 1971.
M. MITCHNER, C.H. KRUGER, *Partially Ionized Gases*, Wiley-Interscience, New York, 1973.
J.R. ROSA, *Magnetohydrodynamics Energy Conversion*, McGrow-Hill, New York, 1968.
T.J. DOLAN, *Fusion Research*, Pergamon Press, New York, 1982.

Tesi di laurea: problemi di equilibrio del plasma nella fusione termonucleare controllata, problemi di analisi e di progetto dei condotti MHD, problemi di interfaccia rete'convertitori MHD, generatori di plasma, acceleratori a plasma.

6469
ELEMENTI DI INGEGNERIA DEL REATTORE NUCLEARE
Docente:

Il corso si propone di fornire allo studente le conoscenze di base per la progettazione termostrutturale dei componenti meccanici di un impianto nucleare. A tale scopo vengono approfondite le conoscenze sui materiali, sulla normativa di progetto e sulle particolari sollecitazioni termomeccaniche alle quali un componente è soggetto. Sono analizzate anche le moderne metodologie di calcolo di queste strutture.

Programma

1. *La meccanica dei materiali*
Materiali utilizzati nella costruzione delle centrali nucleari ed influenza delle condizioni di funzionamento sulle caratteristiche meccaniche dei materiali. Le prove di caratterizzazione in statica ed in dinamica. La meccanica della frattura. La fatica ad alto e a basso numero di cicli. Il comportamento dei materiali in campo plastico. Lo scorrimento viscoso.

2. *La progettazione dei componenti nucleari*
La normativa internazionale e nazionale di riferimento. Carichi statici. Sollecitazioni dinamiche applicate ad una struttura. Tensioni termiche in stazionario ed in transitorio. L'utilizzo del calcolatore nella soluzione di problemi strutturali. Applicazione del metodo degli elementi finiti ed utilizzo di programmi di calcolo.

3. *La affidabilità di un impianto nucleare*
Necessità di prove su modelli ed estrapolazione dei risultati alla scala reale. La applicazione della garanzia della qualità alle diverse fasi di progettazione, costruzione e collaudo di una centrale nucleare. La normativa di riferimento: i 18 punti dell'ANSI.

Testi consigliati:

F. CESARI, *Il metodo degli elementi finiti nei problemi termostrutturali*, Ed. Pitagora, Bologna.
D. BROEK, *Elementary engineering fracture mechanics*, Ed. Noordhoff Intern. Pub., Leyden.
R.W. CLOUGH-J. PENZIEN, *Dynamics of structure*, Ed. McGraw-Hill Inc., Tokyo.
R.W. NICHOLS, *Pressure vessel engineering*, Ed. Elsevier.
A.S.M.E., Sec. III.

Vengono svolte *esercitazioni* su argomenti specifici (progettazione della struttura di sostegno di un nocciolo, calcolo degli schermi termici, calcolo a fatica di un componente, applicazione della meccanica della frattura al progetto di una struttura, calcolo di un sistema di tubazioni soggette ad eventi sismici, dimensionamento e calcolo di parti di un recipiente in pressione).

Esami orali.

Propedeuticità consigliate: Scienza delle costruzioni, Meccanica delle macchine, Macchine.

10425
ELETTRONICA APPLICATA + CONTROLLI AUTOMATICI I (corso integrato)
Docenti: **Roberto Guerreri** prof. ass.
Giuseppe Basile prof. ord.

Programma

Elettronica
— Dispositivi non lineari bipolari e tripolari - Descrizione del funzionamento e caratteristiche
— Metodi di soluzione di circuiti con componenti non lineari: regime stazionario e dinamico
— Amplificatori per piccoli segnali
Amplificatori integrati e applicazioni
Amplificatori di potenza
— Il transistore come interruttore comandato
Circuiti logici di base - famiglie logiche integrate

Automazione
— Generalità sui sistemi: sistemi lineari
— Il problema del controllo: controllo in azione diretta ed in retroazione
— Funzione di trasferimento: analisi della risposta; analisi armonica, condizione di non distorsione
— Criteri di stabilità di sistemi in retroazione - Considerazioni di progetto
— Realizzazione del regolatore con tecniche analogiche e digitali

10401
ELETTRONICA APPLICATA + CONTROLLI AUTOMATICI II (corso integrato)
Docenti:

Programma

Dispositivi di potenza. SCR - Conversione di potenza DC/CA - CA/DC - DC/DC. Circuiti di controllo per convertitori di potenza - Azionamento con motori ac e cc
— Convertitori A/D e D/A - Circuiti integrati analogici - Comparatori d'ampiezza - Analizzatori di spettro - Circuiti di memoria, EPROM, Flip-Flop - Logiche programmabili
— Concetti di controllabilità, osservabilità, disaccoppiamento e insensibilità ai disturbi
— Identificazione del modello matematico di un sistema
— Sistemi e stati finiti
— Realizzazione di sistemi a stati finiti mediante logiche programmabili
— Cenni alla Z-trasformate - Sistemi di controllo digitali

271
ELETTRONICA NUCLEARE
Docente: **Vito Antonio Monaco** prof. ord. (inc.)

Vengono trattati a livello istituzionale i dispositivi ed i circuiti elettronici impiegati per la metrologia di radiazioni nucleari.

Programma sintetico del corso

Dispositivi elettronici fondamentali. Funzionamento in regime stazionario ed in condizioni dinamiche. Analisi e progettazione di semplici circuiti analogici e digitali. Famiglie logiche integrate.

Dispositivi per la rivelazione di radiazioni nucleari.

Schemi funzionali di apparecchiature per la strumentazione nucleare.

Testi consigliati:

V.A. MONACO, *Elettronica Applicata*.
V.A. MONACO, *Tecnica degli impulsi*, Ed. Pitagora.
E. KOWALSKY, *Nuclear electronics*, Springer Verlag.

Oltre alle lezioni vengono svolte *esercitazioni* in aula consistenti nella analisi e progettazione di semplici circuiti elettronici. Per essere ammesso all'esame lo studente deve superare una prova scritta consistente nello svolgimento di esercizi del tipo trattato nelle esercitazioni.

Tesi di laurea: 1) Progettazione di semplici circuiti o apparecchiature di Elettronica nucleare. 2) Realizzazione di routines di calcolo per l'analisi automatica di circuiti elettronici.

8082
ELETTROTECNICA (per Nucleari)
Docente: **Francesco Negrini** prof. ord.

Equazioni generali dell'elettromagnetismo: richiami e complementi sui vettori conservativi, solenoidali e irrotazionali. Definizione delle grandezze fondamentali dell'elettromagnetismo. Le equazioni di Maxwell e l'equazione di continuità in forma locale e integrale. Le equazioni di divergenza dei vettori B e H in forma locale e integrale. Le equazioni di legame materiale. Condizioni di continuità sulla superficie di separazione fra due mezzi.

Elettrostatica: definizione ed equazioni fondamentali. Il potenziale elettrico. Campo

elettrico e potenziale dovuti a una carica puntiforme e ad una distribuzione volumetrica di cariche. Il regime elettrostatico dei conduttori. Influenza elettrostatica. Campo elettrostatico prodotto da conduttori carichi. Schermi elettrostatici. Condensatori e loro collegamenti.

Elettromagnetismo stazionario: definizione ed equazioni fondamentali. Legge di Ohm per un circuito e per un tratto di circuito. Principi di Kirchhoff. Collegamenti di resistenze. Soluzione di reti elettriche. Potenza assorbita da un circuito; effetto Joule. Bilancio energetico di una rete elettrica. Il campo magnetico stazionario. Circuiti magnetici lineari. Legge di Hopkinson. Estensione dei principi di Kirchhoff ai circuiti magnetici. Circuiti magnetici ad elevata permeabilità. Coefficienti di auto e mutua induzione e loro determinazione. Uguaglianza dei coefficienti di mutua induzione fra due circuiti. I materiali ferromagnetici: isteresi magnetica; magneti permanenti.

Elettromagnetismo quasi stazionario: definizione e ipotesi. Circuiti a costanti concentrate. Legge di Ohm generalizzata. Generalizzazione dei principi di Kirchhoff. Osservazioni sulla legge della circuitazione magnetica e sulla legge dell'induzione elettromagnetica.

Il bilancio energetico dei sistemi elettromagnetici: equazione generale di bilancio. Energia elettrostatica di un condensatore. Energia magnetica di un insieme di circuiti. Energia magnetica in funzione del campo. Energia dissipata in un ciclo di isteresi. Forza esercitata da un elettromagnete. Coppia fra bobine percorse da corrente.

Il transitorio dei circuiti elettrici: componente transitoria e componente di regime di una corrente. Ricerca delle correnti di regime. Ricerca delle componenti transitorie. Dati e valori iniziali. Circuito R-L alimentato da f.e.m. costante. Circuito R-C alimentato da f.e.m. costante. Circuito RLC.

I circuiti elettrici in regime di corrente alternata: grandezze sinusoidali; valore efficace. Rappresentazione delle grandezze sinusoidali mediante numeri complessi. Legge di Ohm simbolica. Impedenza di un circuito. Equazioni di Kirchhoff simboliche. Studio di circuiti in c.a. mediante il metodo simbolico. Risonanza ed antirisonanza. Potenza attiva e potenza reattiva. Potenza complessa. Additività delle potenze. Gli strumenti elettrodinamici di misura: amperometro, voltmetro, wattmetro. Il rifasamento: calcolo dei condensatori di rifasamento.

Sistemi trifase: definizioni e proprietà fondamentali. Cenni sui generatori di alimentazione di un sistema trifase. Utilizzatori a stella e a triangolo. Teorema di equivalenza. Potenza assorbita da un utilizzatore trifase. Misure di potenza nei sistemi trifase; inserzione Aron. Sistemi trifase con neutro.

Introduzione allo studio delle macchine elettriche: ipotesi fondamentali. Equazioni interne ed esterne delle macchine elettriche. Impiego dei materiali ferromagnetici; perdite nel ferro, laminazione.

Trasformatori: principio di funzionamento. Ipotesi di campo. Equazioni interne ed esterne. Relazioni approssimate. Estensione delle equazioni per tener conto delle correnti parassite. Rete equivalente. Reti equivalenti semplificate. Funzionamento a vuoto e in cortocircuito. Misura del rendimento di un trasformatore. Trasformatori di misura. Trasformatori trifase.

Il campo magnetico rotante: nozioni costruttive sulle 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. F.e.m. indotta in una fase da un campo rotante.

Macchine asincrone: nozioni costruttive. Principio di funzionamento. Sincronismo dei

campi rotanti di statore e rotore. Equazioni interne. Teorema di equivalenza. Coppia di una macchina asincrona. Equazioni esterne. Rete equivalente. Condizioni di funzionamento da motore, generatore e freno. Curve caratteristiche: caratteristica meccanica ed elettromeccanica. Considerazioni tecniche sul funzionamento: avviamento e stabilità del funzionamento a regime. Motori asincroni a gabbia e a doppia gabbia.

Macchine sincrone: nozioni costruttive: rotore a poli lisci e a poli sporgenti. Principio di funzionamento.

Macchine a corrente continua: nozioni costruttive. F.e.m. indotta in una spira rotorica. F.e.m. indotta alle spazzole. Cenno sulla reazione di armatura. Coppia di una macchina a c.c. Equazioni interne ed esterne della dinamo. Caratteristica esterna. Dinamo autoeccitata in parallelo. Motore a c.c. 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 a c.c. eccitato in serie.

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.

7972
ENERGETICA E SISTEMI NUCLEARI
Docente: **Marco Spiga** prof. ass.

409
FISICA DEL REATTORE NUCLEARE
Docente: **Vincenzo Molinari** prof. ord. (inc.)

Il corso si propone di fornire i fondamenti istituzionali connessi col funzionamento fisico, ed i metodi — a carattere anche più monografico — connessi con la progettazione neutronica di un reattore nucleare a fissione, visto sia come sorgente di neutroni sia come sorgente di calore.

Programma

Teoria del trasporto dei neutroni. a) teoria integrale del trasporto per neutroni monoenergetici e scattering isotropo: la legge di Fick e l'approssimazione di diffusione; b) il

metodo del «kernel» ed i «kernels» di diffusione e di trasporto; c) teoria integro-differenziale del trasporto, l'equazione di Boltzmann per neutroni monoenergetici e scattering comunque anisotropo; d) estensione al caso di neutroni polienergetici.

Reattori termici omogenei. Fattore di moltiplicazione infinito, e formula dei 4 fattori.

Reattori termici eterogenei. L'influenza dell'eterogeneità sul fattore di moltiplicazione infinito.

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 ad 1 e 2 gruppi di neutroni.

Cinetica del reattore. La formula «inhour».

Cenni sui reattori veloci e di conversione.

Testi consigliati:

V. BOFFI, *Fisica del Reattore Nucleare*, Vol. I, parte 1° e 2°, Patron, Bologna, 1974 (Un'ampia bibliografia è reperibile in questo volume in accordo ai vari argomenti).

Il corso viene corredato da una serie di *esercitazioni* teoriche e numeriche.

Esame orale, implicante anche gli argomenti svolti nelle esercitazioni.

Propedeuticità consigliate: Problemi matematici del reattore nucleare, Fisica nucleare, Fisica tecnica, Idraulica.

Tesi di Laurea: Indirizzo teorico nel campo della teoria del trasporto di particelle cariche e neutre, e sue applicazioni a diversi problemi di fisica e di ingegneria (teoria dei reattori nucleari, teoria del trasporto radiativo, teoria cinetica dei gas, calore, plasmi).

422
FISICA NUCLEARE
Docente: **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.*

7945
FONDAMENTI DI INFORMATICA
Docente: **Franca Rossi Tesi** prof. ass.

(Corso di Laurea in Ing. per l'ambiente e il territorio)

517
IMPIANTI NUCLEARI
Docente: **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: **Luigi Bruzzi** 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 alle sorgenti radioattive naturali e agli impianti nucleari.

Programma

Risorse e riserve di energia; fonti energetiche impiegate per la produzione elettrica.

Combustibili fossili; il ciclo del combustibile di petrolio, carbone, gas naturale e uranio; principali impieghi dei combustibili fossili e nucleari; caratteristiche fisiche e chimiche dei combustibili fossili.

La combustione dei combustibili fossili: aspetti termodinamici e cinetici; produzione di inquinanti nella combustione e loro controllo.

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; produzione e scomparsa e relativi andamenti della loro con-

centrazione durante l'irraggiamento; prodotti di fissione; energia ad essi associata e rese di fissione; catene di decadimento; natura chimica e nucleare dei prodotti di fissione; produzione ed accumulo 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.

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; aspetti tecnici e normativi delle procedure di Valutazione di Impatto 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.

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.

4313-8074
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. Il reattore a gas,

circuito ad una e due pressioni.
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.
M.M. EL-WAKIL, *Nuclear power engineering*, McGraw-Hill.
G. MINELLI, *Macchine idrauliche*, Ed. Pitagora, Bologna.
G. MINELLI, *Turbine a gas*, Ed. Pitagora, Bologna.
G. MINELLI, *Motori endotermici alternativi*, Ed. Pitagora, Bologna.

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 deter-

minazione 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 funazionanti 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 coef-

ficienti costanti. Funzione di trasferimento.

Introduzione alla teoria delle probabilità. Assiomi e conseguenze. Probabilità condizionate, eventi indipendenti, regola di Bayes. Variabili aleatorie discrete e continue. Funzione di distribuzione e densità di probabilità. Momenti. Principali distribuzioni di probabilità. Funzioni di variabili aleatorie. Vettori aleatori. Cenno ai processi stocastici stazionari. Introduzione alle applicazioni probabilistiche relative a problematiche ingegneristiche di affidabilità e di rischio.

Equazioni alle derivate parziali. Equazioni del secondo ordine ellittiche, paraboliche, iperboliche. Introduzione ai principali metodi di integrazione numerica e di risoluzione numerica di problemi a valore iniziale per equazioni differenziali ordinarie e di equazioni differenziali alle derivate parziali. Metodi alle differenze finite. Metodi variazionali. Metodi agli elementi finiti.

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, 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 Stochastics 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, spettrigamma, 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:

Coefficiente 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.

4140
NEUTRONICA APPLICATA
Docente: **Marco Sumini** prof. ass.

Programma

Modelli approssimati in teoria del trasporto lineare.
— Modello asintotico spaziale nella statica e nella dinamica dei reattori:
i) forma dell'equazione del trasporto in teoria asintotica;
ii) riesame e generalizzazione dei concetti di buckling, criticità, autovalore, reattività e vita media nell'ambito della teoria asintotica spaziale;
iii) forme generalizzate dell'inhour equation.
— Metodo delle ordinate discrete:
i) applicazione a problemi in geometria piana e confronto con il metodo delle armoniche sferiche;
ii) geometrie curve e metodi Sn;
iii) descrizione di alcuni codici di trasporto neutronico e gamma.
— Cenni ad altri metodi approssimati in trasporto neutronico.

Metodi variazionali per la soluzione di problemi di neutronica.

Applicazione della teoria delle perturbazioni generalizzate a problemi di Fisica ed Ingegneria dei reattori.
— Parametri integrali nella neutronica dei reattori nucleari.
— Teoria generalizzata delle perturbazioni di reattività.
— Applicazione ai problemi di aggiustamento di librerie di dati nucleari.

Metodi numerici per la soluzione di problemi di neutronica stazionaria e dipendente dal tempo.
— Differenze finite, elementi finiti, coarse mesh.
— Metodi di dinamica spaziale: metodo quasi statico.
— Descrizione dei moduli neutronici di alcuni codici di dinamica e sicurezza.

Equazioni differenziali stocastiche ed analisi del rumore neutronico nei reattori nucleari.

Metodo Monte Carlo nello studio di strutture neutroniche moltiplicanti e schermi.

Problemi di attivazione neutronica dei materiali ed applicazione alle tecnologie industriali.

Testi consigliati:

J.H. FERZIGER, P.F. ZWEIFEL, *The theory of neutron slowing-down in nuclear reactors*, Pergamon Press, Oxford, 1966.
J.J. DUDERSTADT, W.R. MARTIN, *Transport theory*, Wiley, New York, 1979.
A.F. HENRY, *Reactor analysis*, MIT Press, Cambridge, 1975.
E.E. LEWIS, W.F. MILLER, jr., *Computational methods in the theory of neutron transport*, Harwood, New York, 1986.
A.H. JAZWINSKI, *Stochastic processes and filtering theory*, Academic Press, New York, 1970.
M.M.R. WILLIAMS, *Random processes in nuclear reactors*, Pergamon Press, Oxford, 1974.
J. SPANIEL, E.M. GELBARD, *Monte Carlo principles and neutron transport problems*, Addison Wesley, Reading, 1969.
K.H. BECKURTS, K. WIRTZ, *Neutron physics*, Springer, Berlin, 1964.

6806
REATTORI AVANZATI
Docente: **Francesco Premuda** prof. ass.

Il corso si propone di avviare il futuro ingegnere nucleare alla trattazione dei fondamentali problemi fisico-matematici e di calcolo della progettazione neutronica dei reattori termici ad alta temperatura, dei reattori veloci e dei reattori a fusione.

Programma

Si trattano in particolare: le metodiche di calcolo spettrale del codice di trasporto MC^2-2 per elevate anisotropie dello scattering e del flusso angolare, e relativo processamento dei dati nucleari a gruppi nei reattori veloci; il metodo Bondarenko per un più flessibile, anche se meno preciso, processamento dei dati nucleari alle risonanze con funzioni peso analitiche N.R. (narrow resonances) di Nordheim e suo metodo W.R. (wide resonances); problemi di processamento Bonderenko negli schermi alle finestre; il codice GAROL per il calcolo di integrali di risonanza nei casi di elevato allargamento Doppler in reattori HTGR e tecniche di trasporto di prima collisione nel codice THERMOGENE per problemi di cella e multicella negli HTGR; la cinetica delle reazioni di scattering anelastico dei neutroni, delle reazioni (n, 2n) e delle interazioni neutrone - Li_3^6 o Li_3^7 legate al breeding del trizio nei reattori a fusione; l'analisi delle problematiche fisiche ingenerate dallo spettro ottenuto prevalentemente per effetto di urti anelastici con metalli pesanti; problematiche strutturali ed ingegneristiche dei reattori veloci con maggior enfasi agli effetti legati a mutamenti spettrali; la teoria dei metodi di calcolo iterativi di criticità e relativi codici di diffusione e di trasporto TWENTI GRAND, EXTERMINATOR e CITATION tra i primi, DTFIV, ANISN tra i secondi, per reattori termici e veloci; la fenomenologia fisica e le

problematiche codicistiche neutroniche della schermatura in reattori a fissione e fusione; elementi sulla costituzione e sul funzionamento dei reattori a fusione calda a confinamento magnetico a linee di forza chiuse o aperte; il calcolo delle reaction rates di fusione e dei termini di irraggiamento nel bilancio energetico che porta al criterio di Lawson; i reattori a confinamento inerziale nelle loro problematiche di funzionamento e sviluppo; i reattori ibridi a fissione-fusione; la propulsione nucleare spaziale a fusione; i metodi di trasporto alla Fokker-Planck per particelle cariche nei reattori a fusione; le problematiche codicistiche nella neutronica dei reattori a fusione; l'interazione plasma-parete; i primi passi delle metodiche di fusione fredda a catalisi muonica ed elettrolitica.

Tesi: Metodi ed algoritmi per il trasporto di neutroni e particelle cariche in reattori a fissione e fusione in presenza di elevata anisotropia dello scattering e del flusso. Problemi plasma-parete con metodiche trasportistiche in sviluppo. Effetti di eterogeneità cellare in reticoli finiti in teoria del trasporto. Fenomeni di trasporto particellare nell'acqua pesante dei reattori a fusione fredda.

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 RISCHIO
Docente: **Carlo Maria Orlandelli** prof. ass.

6470
STRUMENTAZIONE E REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTI NUCLEARI
Docente: **Franco Cesari** prof. ass.

Il corso si propone di analizzare gli impianti nucleari sotto l'aspetto funzionale e strutturale onde consentire una visione generale delle esigenze e dei problemi connessi con il progetto, il funzionamento, l'esercizio e la regolazione delle centrali nucleari. Particolare attenzione verrà fatta agli impianti nucleari veloci refrigerati a sodio liquido.

Programma

1) Condizioni di carico e di funzionamento degli impianti di potenza.
2) Fenomeni strutturali legati alle condizioni di carico ed alle situazioni funzionali limite.
3) Correlazioni funzionali-strutturali nel progetto della parte primaria della centrale (circuiti di refrigerazione principali e relative componenti).
4) Rilevamento e manipolazione delle quantità fisiche rilevanti e necessarie per la regolazione della centrale.
5) Ciclo di movimento del combustibile nella centrale e caratteristiche del combustibile in rapporto alle esigenze del ciclo.
6) Funzionamento, esercizio e primo avvio della centrale.
7) Incidenti e contenimento della centrale.

Testi consigliati:

Dispense del corso a cura del docente.
EL WAKIL, *Nuclear Power Engineering*, Mc Graw-Hill.

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.

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 M. Strocchi** prof. ass.

Finalità del corso:

Presentare i problemi relativi all'impiego dei materiali per l'energetica, anche nei loro aspetti quantitativi, alla luce dei principi fondamentali della Scienza dei Materiali e correlare i meccanismi microstrutturali con i problemi tecnologici di immediato significato applicativo per l'ingegnere progettista e di esercizio di impianti per la produzione e conversione d'energia, alimentati da combustibile convenzionale e nucleare.

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 strutturistici.* 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 didiffusione: 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 riassestamento, ricristallizzazione, ingrossamento dei grani - Trattamenti di indurimento basati sulla trasformazione eutettoidica: tempra diretta e termale, rinvenimento, bonifica, tempra bainitica, bonifica isotermica - 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.

Università di Bologna
BIBLIOTECA INGEGNERIA BOLOGNA

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 motò 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, *Fattori di canale caldo*, Ed. Petroni.
LORENZINI, *Cicli termodinamici dei reattori nucleari*, Ed. Petroni.
EL WAKIL, *Nuclear Power Engineering*, McGraw-Hill.
CUMO, *Elementi di termotecnica del reattore*, CNEN.
LORENZINI, *Ebollizione*, Ed. Pitagora.
LORENZINI, CUMO, *Energia nucleare: problemi degli anni '80*, Ed. Pàtron.

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.

01-20 STD ECO



8 032919 996824

www.colibrisystem.com

PER TUTTI GLI

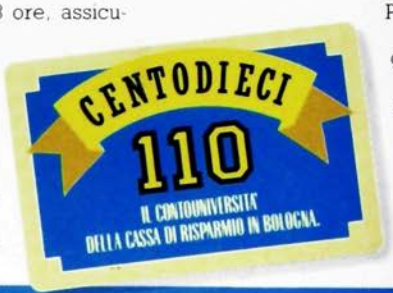
UNIVERSITARI

CON 100 PROGETTI

PER LA TESTA

110 PER ESAUDIRLI.

Per vivere al meglio gli anni dell'Università, uno strumento pratico e moderno di gestione del denaro: operazioni gratuite, carta Bancomat, finanziamenti in 48 ore, assicurazioni gratuite, agevolazioni per corsi, viaggi, sport, sconti presso i punti convenzionati... in aggiunta alla possibilità di concorrere a borse di studio. E per non dimenticare nulla, una modernissima rubrica in omaggio. Per costruire un grande futuro una solida base per il presente. Dalla Cassa di Risparmio in Bologna.



IL CONTOUNIVERSITÀ
DELLA CASSA DI RISPARMIO IN BOLOGNA

06112