UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA

GUIDA DELLO STUDENTE PER LA FACOLTÀ DI

INGEGNERIA

ANNO
ACCADEMICO
1989-1990

CLUEB

Tiolo 6° 1/2

El Greco (D. Theotokopulos, detto), *Sant'Ildefonso che scrive sotto la dettatura della Vergine* (1605 circa), olio su tela, cm 158 × 102, Illescas (Chiesa dell'Ospedale della Carità), particolare.

BIBLIOTECA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA

GUIDA DELLO STUDENTE PER LA FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Anno Accademico 1989-1990

UNIVERSITÁ DI BOLOGNA
FACOLTÁ DI INGEGNERIA
BIBLIOTECA CENTRALE
INV. N° 14357

Editrice CLUEB Bologna

Università di Bologna
BIBLIOTECA
Facoltà di Ingegneria

© 1989
Copyright by Cooperativa Libraria Universitaria Editrice Bologna
40126 Bologna - Via Marsala 24

Finito di stampare nel mese di settembre 1989 in Bologna
dalla Cooperativa Libraria Universitaria Editrice

INDICE

pag.

Ordinamento della Facoltà di ingegneria 7

Organi ufficiali della Facoltà 12
1 — Consiglio di Facoltà (Commissioni permanenti, comitati di gestione) 12
2 — Consigli di Corso di Laurea (Commissioni per i Piani di studio) 12

Strutture didattico-scientifiche 13
Dipartimenti, Istituti e insegnamenti ad essi afferenti 13
Elenco degli insegnamenti della Facoltà 20
Equivalenze tra insegnamenti del nuovo e vecchio ordinamento 28

Ordine degli Studi A.A. 1988/89 30
1 — Calendario delle lezioni e degli esami 30
2 — Esami di laurea 30
3 — Piani di studio ufficiali 31
4 — Note esplicative sui Corsi di Laurea e sugli Indirizzi di Specializzazione 53

Dati statistici (studenti iscritti, laureati) 67

Normativa di Segreteria 70
1 — Immatricolazione 70
2 — Immatricolazione di stranieri e di italiani in possesso di titoli di studio stranieri 71
3 — Norme generali relative alla carriera scolastica 73
A) Validità dell'anno e attestazioni di frequenza 73
B) Corsi liberi 73
C) Esami di profitto 73
D) Esami di Laurea o Diploma. Modalità 74
4 — Norme particolari relative alla carriera scolastica nella Facoltà di Ingegneria 75
5 — Trasferimenti ad o da altre Università, o Facoltà, o Corsi di Laurea 77

pag.

A) Trasferimenti ad altra Università (congedi) 77
B) Trasferimenti da altra Università 77
C) Passaggi da altra Facoltà o Corso di Laurea presso l'Università di Bologna 77
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 78
E) Normativa per l'iscrizione di laureati in Architettura 80
6 — Piani di studio individuali 80
A) Criteri generali della Facoltà per l'applicazione delle leggi n. 910 e n. 924 81
B) Norme di massima per singoli Corsi di Laurea 81
7 — Rilascio di attestazioni 83
8 — Dispensa dalle tasse e assegno di studio 84

Programmi delle materie di insegnamento 87
1 — Corso di Laurea in Ingegneria Civile 87
A) Biennio propedeutico, comune a tutte le Sezioni 87
B) Triennio di applicazione, materie comuni a tutte le Sezioni 99
C) Ingegneria Civile, sezione Edile 122
D) Ingegneria Civile, sezione Idraulica 155
E) Ingegneria Civile, sezione Trasporti 166
2 — Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica 172
3 — Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica 214
4 — Corso di Laurea in Ingegneria Chimica 244
5 — Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria 280
6 — Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica 302
7 — Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare 364

ORDINAMENTO DELLA FACOLTA 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

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;
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.

ORGANI UFFICIALI DELLA FACOLTA
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, Elettrotecnica, 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.

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: P.V. Righi, S. Artina, P. Secondini, F. Laudiero, G. Matildi; Ing. Meccanica: O. Pierfederici, R. Bettocchi, G. Vassura; Ing. Elettrotecnica: L. Simoni, M. Pezzi; Ing. Chimica: P. Chiorboli, 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 (Civili) (Elettrot., Nucleari) (Chimici) (Meccanici) (Minerari) (Elettronici)
Chimica applicata (Chimici) (Meccanici) (Minerari)
Chimica e tecnologia dei prodotti ceramici
Chimica fisica
Chimica fisica (Elettronici)
Chimica fisica dei materiali elettrici
Chimica fisica dei materiali nucleari
Chimica fisica dei polimeri
Chimica organica
Ciclo del combustibile nucleare
Combustibili nucleari
Metallurgia e metallografia
Scienza dei materiali
Strumentazione chimica
Sviluppo e disegno degli impianti chimici
Tecnologia dei materiali nucleari

Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica
Automazione e organizzazione sanitaria
Bioautomatica
Calcolatori elettronici
Calcolo numerico e programmazione
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
Elementi di informatica
Elettronica applicata
Elettronica applicata I
Elettronica applicata II
Elettronica applicata III
Elettronica industriale
Elettronica nucleare
Elettronica quantistica
Gestione dell'informazione
Linguaggi di programmazione
Metodi di osservazione e misura
Metodi di ottimizzazione
Microelettronica
Microonde
Progettazione automatica dei circuiti elettronici
Programmazione dei calcolatori elettronici
Radiotecnica
Reti logiche
Ricerca operativa
Sistemi per l'elaborazione dell'informazione
Strumentazione biomedica
Strumentazione elettronica
Tecnologie dei sistemi di controllo
Teoria dei sistemi
Teoria dei sistemi e del controllo

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 (2 corsi)
Costruzioni di macchine automatiche
Costruzioni nucleari
Disegno (Meccanici)
Disegno (Elettrotecnici, Chimici, Elettronici, Nucleari)
Disegno II (Meccanici, Minerari)
Economia ed organizzazione aziendale (Meccanici, Minerari)
Macchine utensili
Meccanica applicata alle macchine (3 corsi)

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
Complementi di matematiche
Geometria
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 (Civili)
Disegno II (Civili)
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
Elettrotecnica II
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 (Elettrotecnici, Elettronici)
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 chimici
Impianti chimici
Impianti chimici II
Impianti chimici III
Analisi dei sistemi nell'ingegneria chimica
Chimica industriale
Dinamica e controllo dei processi chimici
Principi di ingegneria chimica
Principi di ingegneria chimica II
Proprietà termodinamiche e di trasporto
Tecnologia chimica del disinquinamento
Tecnologia dei materiali e chimica applicata
Teoria e sviluppo dei processi chimici

Istituto di Impianti meccanici e macchine speciali
Impianti meccanici
Complementi di impianti meccanici
Impianti nucleari

Impianti tecnici industriali
Pianificazione degli impianti meccanici

Istituto di Macchine
Macchine (Meccanici) (Elettrot.) (Chimici, Minerari) (Nucleari)
Complementi di macchine
Dinamica e controllo delle macchine a fluido
Disegno (Meccanici, Minerari)
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
Costruzioni metalliche
Dinamica delle strutture
Sperimentazione dei materiali e delle strutture

Istituto di Scienze minerarie
Arte mineraria
Complementi di arte mineraria
Giacimenti minerari
Idrogeologia applicata
Legislazione mineraria
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
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. 1989/90

(equivalenze con insegnamenti del vecchio ordinamento sono riportate a pag. 28)

Biennio propedeutico

				pag.
1349	ANALISI MATEMATICA I	(civili, chimici, minerari)	G. Mancini	87
1350	ANALISI MATEMATICA I	(meccanici)	E. Obrecht	172
1351	ANALISI MATEMATICA I	(nucleari)	E. Obrecht	172
1352	ANALISI MATEMATICA I	(elettronici A-D, elettrot.)	P.L. Papini	302
1352	ANALISI MATEMATICA I	(elettronici E-O)	C. Ravaglia	302
1352	ANALISI MATEMATICA I	(elettronici P-Z)	F. Nardini	302
1353	ANALISI MATEMATICA II	(civili, chimici, minerari)	A. Malferrari	88
1354	ANALISI MATEMATICA II	(meccanici)	G. Dore	173
1355	ANALISI MATEMATICA II	(nucleari)	G. Dore	173
1356	ANALISI MATEMATICA II	(elettronici A-D, elettrot.)	S. Matarasso	304
1356	ANALISI MATEMATICA II	(elettronici E-O)	L. Cerofolini	304
1356	ANALISI MATEMATICA II	(elettronici P-Z)	F. Segala	304
4501	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	(elettrotecnici)	L. Ambrosini G.	216
6464	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	(elettronici)	F. Sgallari	216
1357	CHIMICA	(civili)	G. Milani	88
1358	CHIMICA	(meccanici, minerari)	B. Fortunato	175
1359	CHIMICA	(nucleari)	P. Manaresi	246
1360	CHIMICA	(chimici)	P. Manaresi	246
1359	CHIMICA	(elettrotecnici)	M. Poloni	86
1361	CHIMICA	(elettronici A-K)	F. Zignani	311
1361	CHIMICA	(elettronici L-Z)	C. Berti	311
92	CHIMICA APPLICATA	(meccanici)	V. Passalacqua	176
6792	CHIMICA APPLICATA	(chimici)	L. Pentimalli	247
148	CHIMICA ORGANICA	(chimici)	L. Marchetti	253
1362	DISEGNO	(civili)	V. Valeriani	89
1363	DISEGNO	(meccanici)	V. Dal Re	183
1364	DISEGNO	(elettrot., chimici, minerari, nucleari, elettronici)	A. Maggiore	221
3656	DISEGNO II	(civili)	A. Pratelli	91
3781	DISEGNO II	(meccanici, minerari)	G. Medri	184
6297	ELEMENTI DI INFORMATICA	(elettronici A-K)	A. Natali	324
6297	ELEMENTI DI INFORMATICA	(elettronici L-Z)	D. Maio	324
1366	FISICA I	(civili, chimici, minerari)	E. Verondini	92
1367	FISICA I	(meccanici)	M. Capponi	187

				pag.
1368	FISICA I	(nucleari)	M. Capponi	187
1369	FISICA I	(elettronici A-K, elettrotecnici)	A. Gandolfi	333
1369	FISICA I	(elettronici L-Z)	F. Verniani	333
1370	FISICA II	(civili, chimici, minerari)	A. Bertin	93
1371	FISICA II	(meccanici)	A. Vitale	188
1373	FISICA II	(nucleari)	A. Vitale	188
1372	FISICA II	(elettronici A-K, elettrotecnici)	F. Saporetti	335
1372	FISICA II	(elettronici L-Z)	C. Moroni	335
406	FISICA ATOMICA	(nucleari)	M. Morganti	377
464	GEOLOGIA	(minerari)	C. Elmi	286
1374	GEOMETRIA	(civili, chimici, minerari)	L. Pezzoli	94
1375	GEOMETRIA	(meccanici)	L. Cavalieri D'Oro	191
1376	GEOMETRIA	(nucleari)	L. Cavalieri D'Oro	191
1377	GEOMETRIA	(elettronici A-D, elettrotecnici)	M. Ferri	337
1377	GEOMETRIA	(elettronici E-O)	L. Grasselli	337
1377	GEOMETRIA (elettronici P-Z)	F. Bonetti	337	
661	LITOLOGIA E GEOLOGIA	(civili)	G.C. Carloni	95
1378	MECCANICA RAZIONALE	(civili, chimici, minerari)	T.A. Ruggeri	97
1379	MECCANICA RAZIONALE	(meccanici, nucleari)	M. Fabrizio	199
1381	MECCANICA RAZIONALE	(elettronici A-D, elettrotecnici)	P.P. Abbati Marescotti	342
1381	MECCANICA RAZIONALE	(elettronici E-O)	A. Strumia	342
1381	MECCANICA RAZIONALE	(elettronici P-Z)	C. Tebaldi	342
2004	METODI DI OSSERVAZIONE E MISURA (elettronici A-K)		F. Malaguti	344
2004	METODI DI OSSERVAZIONE E MISURA (elettronici L-Z ed elettrotecnici)		A. Menchetti	344
5725	MINERALOGIA E PETROGRAFIA (minerari)		R. Mezzetti	293
9240	PROGRAMMAZIONE DEI CALCOLATORI ELETTRONICI	(elettronici)	P. Toth	350
1043	TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA	(civili)	L. Cini	97
1044	TECNOLOGIA DEI MATERIALI NUCLEARI (nucleari)		P. Strocchi	391

Triennio di applicazione

(il numero di codice tra parentesi indica il Corso di Laurea di appartenenza)

2006	ACQUEDOTTI E FOGNATURE (semestrale) (08)	P. Guerrini	122
5564	ACUSTICA APPLICATA E ILLUMINOTECNICA (08) (03) (10)	A. Cocchi	123

			pag.
02	AERODINAMICA (02) (09)	G. Scarpi	172
5801	ANALISI DEI SISTEMI DELL'INGEGNERIA CHIMICA (04)	G. Spadoni	244
9432	ANALISI DI SICUREZZA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI (07)	C.M. Orlandelli	364
4117	ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI (02)	A. Freddi	174
5565	ANALISI STRUTTURALE CON L'ELABORATORE ELETTRONICO (08)	A. Cannarozzi	124
2237	APPLICAZIONI INDUSTRIALI DELL'ELETTROTECNICA (03)	M. Loggini	214
50	ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA (08)	L. Lugli	126
3870	ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA II (08)	G. Praderio	127
51	ARCHITETTURA TECNICA (08, ind. 1,2,3,8,9,10,11)	I. Tagliaventi	99
51	ARCHITETTURA TECNICA (08, ind. 4,5,6,7) (09) (10)	A.C. Dell'Acqua	100
54	ARTE MINERARIA (05)	P. Berry	281
1679	AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE SANITARIA (06)	G. Gnudi	305
3569	BIOAUTOMATICA (06)	E. Belardinelli	306
9602	BIOMECCANICA E BIOMACCHINE (06)	G. Avanzolini	307
3716	CALCOLATORI ELETTRONICI (06)	M. Boari	308
81	CALCOLO DELLE MACCHINE ELETTRICHE (03)	A. Grande	215
6461	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE (08)	F. Sgallari	128
6462	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE (02) (04)	A. Chiarini	245
6462	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE (05) (07)	F. Rossi Tesi	282
9430	CALCOLO TERMOMECCANICO DEI COMPONENTI NUCLEARI (07)	F. Cesari	365
5698	CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI I (06 A-D)	G.C. Corazza	309
5698	CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI I (06 E-O)	G. Falciasecca	309
5698	CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI I (06 P-Z)	V. Rizzoli	309
5699	CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI II (06)	M. Zoboli	310
85	CARATTERI DISTRIBUTIVI DEGLI EDIFICI (08)	G. Trebbi	130
86	CENTRALI ELETTRICHE (03)	M. Pezzi	217
92	CHIMICA APPLICATA (05)	G. Timellini	283
115	CHIMICA E TECNOLOGIA DEI PRODOTTI CERAMICI (04)	C. Palmonari	249
122	CHIMICA FISICA (04)	P. Chiorboli	250
6465	CHIMICA FISICA (per Elettronici) (06)	A. Desalvo	312
5693	CHIMICA FISICA DEI MATERIALI ELETTRICI (03)	F. Pilati	217
2046	CHIMICA FISICA DEI MATERIALI NUCLEARI (07)	D. Nobili	366
137	CHIMICA INDUSTRIALE (04)	C. Stramigioli	252
6467	CINETICA E CONTROLLO DEL REATTORE NUCLEARE (07)	T. Trombetti	367
2826	COMBUSTIBILI NUCLEARI (07)	L. Bruzzi	368
9040	COMPLEMENTI DI ARTE MINERARIA (05)	Sa. Fabbri	284
2022	COMPLEMENTI DI COSTRUZIONE DI MACCHINE (02)	G. Medri	177
5797	COMPLEMENTI DI COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (08)	A. Bucchi	131
2468	COMPLEMENTI DI ELETTROTECNICA (07)	I. Montanari	370
8076	COMPLEMENTI DI IMPIANTI MECCANICI (02)	M. Gentilini	177
2018	COMPLEMENTI DI MACCHINE (02)	G. Minelli	178

			pag.
4118	COMPLEMENTI DI MACCHINE ELETTRICHE (03)	G.M. Rancoita	218
9241	COMPLEMENTI DI MACCHINE ELETTRICHE (06)	C. Tassoni	313
189	COMPLEMENTI DI MATEMATICHE (06 A-K)	G.C. Barozzi	315
189	COMPLEMENTI DI MATEMATICHE (06 L-Z)	N. Garofalo	315
6472	COMPLEMENTI DI MECCANICA APPLICATA (02)	V. Parenti Castelli	179
4127	COMPLEMENTI DI NEUTRONICA (07)	V. Molinari	370
2816	COMPLEMENTI DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (08)	F. Laudiero	132
2010	COMPLEMENTI DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI (civili)	C. Ceccoli	101
1956	COMPLEMENTI DI TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI (10)	G. Foresti	166
2009	COMPLEMENTI DI TECNICA URBANISTICA (08) (10)	S. Casini	133
9431	COMPLEMENTI DI TOPOGRAFIA (civili)	P. Russo	102
4179	COMUNICAZIONI ELETTRICHE I (06 III anno)	L. Calandrino	316
4179	COMUNICAZIONI ELETTRICHE I (06 IV anno)	G. Immovilli	316
5700	COMUNICAZIONI ELETTRICHE II (06)	G. Corazza	318
4125	CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI (09) (10) (05)	A. Bucchi	155
196	CONTROLLI AUTOMATICI (03) (07)	F. Terragni	219
3694	CONTROLLI AUTOMATICI I (06 A-K)	E. Sarti	319
3694	CONTROLLI AUTOMATICI I (06 L-Z)	G. Bertoni	319
3695	CONTROLLI AUTOMATICI II (06)	M. Tibaldi	320
2015	CONTROLLI IDRAULICI E PENUMATICI (09)	A. Rubatta	156
4126	CONTROLLO DEI PROCESSI (06)	C. Bonivento	321
2030	COSTRUZIONE DI APPARECCHIATURE CHIMICHE (04)	V. Dal Re	254
201	COSTRUZIONE DI MACCHINE (02)	G. Favretti	181
1384	COSTRUZIONE DI MACCHINE (07)	A. Strozzi	371
5798	COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE (02)	G. Vassura	182
198	COSTRUZIONE DI PONTI (civili)	M. Merli	102
204	COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (civili A-K)	M. Guastella	103
204	COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (civili L-Z)	P.V. Righi	103
205	COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE (03) (07)	G. Serra	220
206	COSTRUZIONI IDRAULICHE (09)	B. Poggi	156
2014	COSTRUZIONI MARITTIME E FLUVIALI (09)	P. Lamberti	157
4053	COSTRUZIONI METALLICHE (08)	G. Matildi	135
5690	COSTRUZIONI PER L'INDUSTRIA (08)	C. Comani	136
4131	DIFESA E CONSERVAZIONE DEL SUOLO (09)(08)(05)	A. Bizzarri	158
6200	DINAMICA DELLE STRUTTURE (08)	P.L. Sacchi	137
8545	DINAMICA E CONTROLLO DEI PROCESSI CHIMICI (04)	G. Pasquali	255
6468	DINAMICA E CONTROLLO DELLE MACCHINE A FLUIDO (02)	C. Bonacini	183
5694	ECONOMIA DELL'INGEGNERIA (03)	N. Luciani	222
251	ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (06)	N. Luciani	323
9268	ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (02) (05)	A. Zanoni	185
4001	ELEMENTI DI ARCHITETTURA TECNICA (08)	G. Cuppini	138

			pag.
9041	ELEMENTI DI FISICA E DI INGEGNERIA DEI PLASMI (07) (03)	C.A. Borghi	373
6469	ELEMENTI DI INGEGNERIA DEL REATTORE NUCLEARE (07) (03)	S. Curioni	374
3697	ELETTROACUSTICA (06)	P. Bassi	326
270	ELETTRONICA APPLICATA (03)	V.A. Monaco	224
2438	ELETTRONICA APPLICATA I (06 A-K)	S. Graffi	327
2438	ELETTRONICA APPLICATA I (06 L-Z)	P.U. Calzolari	327
5809	ELETTRONICA APPLICATA II (06 A-K)	B. Riccò	328
5809	ELETTRONICA APPLICATA II (06 L-Z)	G. Baccarani	328
4314	ELETTRONICA APPLICATA III (06)	G. Baccarani	329
2037	ELETTRONICA INDUSTRIALE (06)	F. Filicori	330
271	ELETTRONICA NUCLEARE (07)	V.A. Monaco	375
2034	ELETTRONICA QUANTISTICA (06)	M. Rudan	331
275	ELETTROTECNICA (civili A-K) (05)	F. Filippetti	105
275	ELETTROTECNICA (civili L-Z)	R. Miglio	105
6794	ELETTROTECNICA (02)	R. Sacchetti	186
6793	ELETTROTECNICA (04) (05)	M.L. Ambrosini	256
8082	ELETTROTECNICA (07)	F. Negrini	375
277	ELETTROTECNICA I (03)	U. Reggiani	224
6795	ELETTROTECNICA I (06 II anno A-K)	F. Ciampolini	332
6795	ELETTROTECNICA I (06 II anno L-Z)	P.R. Ghigi	332
6795	ELETTROTECNICA I (06 III anno)	M. Martelli Rossi	332
279	ELETTROTECNICA II (03)	R. Troili	226
5695	ESERCIZIO DELLE RETI ELETTRICHE DI ENERGIA (03)	G. Malaman	227
409	FISICA DEL REATTORE NUCLEARE (07)	V. Molinari	378
422	FISICA NUCLEARE (07)	V. Benzi	379
430	FISICA TECNICA (civili) (05)	A. Cocchi	106
6796	FISICA TECNICA (02)	S. Salvigni	189
6797	FISICA TECNICA (03) (04) (07)	E. Zanchini	228
6798	FISICA TECNICA (06 A-K)	V. Tarabusi	336
6798	FISICA TECNICA (06 L-Z)	G. Pagliarini	336
447	FONDAMENTI DI ECONOMIA ED ESTIMO (08) (10)	F. Spina	107
1656	FOTOGRAMMETRIA (08) (09) (10)	A. Selvini	108
454	GEOFISICA MINERARIA (05)	D. Postpischl	285
2007	GEOTECNICA (semestrale) (civili) (05)	P.V. Righi	109
5573	GESTIONE DELL'INFORMAZIONE (06)	P. Tiberio	338
482	GIACIMENTI MINERARI (05)	G. Simboli	286
490	IDRAULICA (civili A-K) (05)	G.L. Bragadin	110
490	IDRAULICA (civili L-Z) (07)	A. Rubatta	110
6799	IDRAULICA (02) (03)	A. Lamberti	192
4135	IDROGEOLOGIA APPLICATA (semestrale) (05)	D. Vitali	288
496	IDROLOGIA E IDROGRAFIA (09) (05)	E. Todini	160
501	IMPIANTI CHIMICI (04)	U. Lelli	257
502	IMPIANTI CHIMICI II (04)	G. Pasquali	258
9042	IMPIANTI CHIMICI III (04)	C. Gostoli	260
5843	IMPIANTI ELETTRICI (03)	M. Pezzi	230
504	IMPIANTI ELETTRICI (06)	M. Pezzi	230
5691	IMPIANTI IDRAULICI (09)	P. Guerrini	161
515	IMPIANTI MECCANICI (02)	Se. Fabbri	193

			pag.
517	IMPIANTI NUCLEARI (07)	E. Sobrero	380
522	IMPIANTI TECNICI CIVILI (08)	E. Tartarini	139
6541	IMPIANTI TECNICI INDUSTRIALI (02)	G. Coli	194
9043	INGEGNERIA DEL TERRITORIO (08)	R. Lugli	140
3751	INGEGNERIA SANITARIA (08) (09)	G.L. Bragadin	141
4136	INGEGNERIA SISMICA (sem.) (08)	P. Diotallevi	142
6463	ISTITUZIONI DI DIRITTO PUBBLICO E PRIVATO (semestrale) (08)	M. Bernardini	143
4137	LEGISLAZIONE MINERARIA (semestrale) (05) (04)	G. Caia	288
4138	LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE (06) (03)	F. Bonfatti	339
4022	MACCHINE (02)	C. Bonacini	195
8074	MACCHINE (03)	G. Negri di Montenegro	381
663	MACCHINE (04) (05)	G. Cantore	262
4313	MACCHINE (07)	G. Negri di Montenegro	381
9044	MACCHINE E IMPIANTI ELETTRICI (02)	D. Casadei	195
666	MACCHINE ELETTRICHE (03)	B. Brunelli	231
670	MACCHINE UTENSILI (02)	O. Zurla	196
5696	MATERIALI SPECIALI PER L'ELETTROTECNICA (03)	E. Goracci	232
687	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (02)	E. Funaioli	198
8073	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (03)	U. Meneghetti	233
1385	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (04)(05)	U. Meneghetti	233
9612	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (avanzato) (02)	U. Meneghetti	198
688	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE E MACCHINE (civili)	G. Negri di Montenegro	111
690	MECCANICA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI (05) (09)	G.L. Chierici	289
2631	MECCANICA DELLE MACCHINE (07)	A. Maggiore	382
2632	MECCANICA DELLE MACCHINE E MACCHINE (06)	A. Andrisano	341
4114	MECCANICA DELLE ROCCE (05)	A. Paretini	291
2021	METALLURGIA E METALLOGRAFIA (04)	G. Poli	262
5701	METODI DI OTTIMIZZAZIONE (06)	P. Toth	345
5702	MICROELETTRONICA (06)	M. Rudan	346
2191	MICROONDE (06)	A. Lipparini	347
730	MISURA DELLE RADIAZIONI E PROTEZIONE (07)	P. Amadesi	383
731	MISURE E CONTROLLI NEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI (05)	G.C. Borgia	294
732	MISURE ELETTRICHE (03)	A. Burchiani	234
1386	MISURE ELETTRICHE (06 A-K)	M. Rinaldi	348
1386	MISURE ELETTRICHE (06 L-Z)	D. Mirri	348
2013	MISURE E MODELLI IDRAULICI (09)	F. Lazzari	162
5697	MISURE E REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTI ELETTRICI (03)	R. Sasdelli	235
1140	MISURE MECCANICHE E TERMICHE (02)	G. Minelli	201
4140	NEUTRONICA APPLICATA (07)	M. Sumini	385
2020	ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE (02) (06)	G. Bartolozzi	202
6937	PIANIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI MECCANICI (02)	A. Pareschi	204
805	PREPARAZIONE DEI MINERALI (05)	F. Ciancabilla	295
814	PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA (04)	F. Santarelli	264
4641	PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II (04)	F.P. Foraboschi	267

			pag.
5804	PROBLEMI MATEMATICI DEI REATTORI NUCLEARI (07)	M. Spiga	387
5568	PROCESSI INDUSTRIALI APPLICATI ALL'EDILIZIA (08)	C. Comani	144
816	PRODUZIONE E TRASPORTO DEGLI IDROCARBURI (05)	G. Gottardi	296
5799	PROGETTAZIONE ASSISTITA DI STRUTTURE MECCANICHE (02)	P.G. Molari	205
8078	PROGETTAZIONE URBANISTICA (08)	C. Porrino	145
818	PROGETTI DI MACCHINE (02)	G. Bartolozzi	206
8079	PROGETTI PER LA RISTRUTTURAZIONE ED IL RISANAMENTO EDILIZIO (08)	G. Cuppini	147
5569	PROGRAMMAZIONE DELLO SVILUPPO E DELL'ASSETTO DEL TERRITORIO (08) (04)	A. Corlaita	148
5802	PROPRIETA TERMODINAMICHE E DI TRASPORTO (04)	G.C. Sarti	269
877	RADIOTECNICA (06)	O. Andrisano	351
6806	REATTORI AVANZATI (07)	F. Premuda	389
5579	RETI LOGICHE (06 A-K)	R. Laschi	353
5579	RETI LOGICHE (06 L-Z)	E. Faldella	353
884	RICERCA OPERATIVA (06) (10)	S. Martello	354
2235	SCIENZA DEI MATERIALI (04)	F. Sandrolini	271
886	SCIENZA DEI METALLI (02)	G. Poli	206
890	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (civili A-K) (05)	A. Di Tommaso	112
890	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (civili L-Z)	A. Cannarozzi	112
6801	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (02) (03)	E. Viola	207
6801	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (04) (07)	G. Pascale	272
6802	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (06 A-K)	E. D'Anna	355
6802	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (06 L-Z)	M. Cannarozzi	355
3980	SISTEMI PER L'ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE (06 A-K)	G. Neri	356
3980	SISTEMI PER L'ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE (06 L-Z)	T. Salmon Cinotti	356
9239	SISTEMI PER L'ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE (avanzato) (06)	R. Rossi	356
3971	SPERIMENTAZIONE DEI MATERIALI E DELLE STRUTTURE (semestrale) (08)	A. Di Leo	149
5570	STORIA DELL'ARCHITETTURA E DELL'URBANISTICA (08)	L. Lugli	150
4152	STRUMENTAZIONE BIOMEDICA (06)	G. Avanzolini	358
1143	STRUMENTAZIONE CHIMICA (04)	L. Marchetti	273
2044	STRUMENTAZIONE ELETTRONICA (06)	G. Masetti	359
4146	STRUMENTAZIONE INDUSTRIALE (02)	Se. Fabbri	209
6470	STRUMENTAZIONE E REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTI NUCLEARI (07)	F. Cesari	390
9046	STRUTTURE SPECIALI (sem.) (08)	M. Majowiecki	151
5819	SVILUPPO E DISEGNO DEGLI IMPIANTI CHIMICI (04)	W. Neri	274
1019	TECNICA DEI SONDAGGI (05) (09)	G. Brighenti	298
2011	TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE (10) (02) (03) (06)	G. Praitoni	167
5705	TECNICA DELLA PROGETTAZIONE IDRAULICA (09)	S. Artina	163
4153	TECNICA DELLE ALTE TENSIONI (03)	G. Pattini	237

			pag.
1026	TECNICA DELLE COSTRUZIONI (civili A-K)	P. Pozzati	113
1026	TECNICA DELLE COSTRUZIONI (civili L-Z)	R. Alessi	113
9047	TECNICA DELLE COSTRUZIONI (05)	F. Zarri	299
2008	TECNICA DELLE FONDAZIONI (semestrale) (civili) (05)	R. Poluzzi	114
1031	TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI (10) (08) (02) (06) (03)	A. Orlandi	169
5572	TECNICA ED ORGANIZZAZIONE DEI CANTIERI (08)	F. Spina	152
1034	TECNICA URBANISTICA (08, ind. 1,2,8,9,10)	C. Monti	116
1034	TECNICA URBANISTICA (08, ind. 3,4,5,6)	G. Crocioni	116
1034	TECNICA URBANISTICA (08 ind. 7,11) (10)	G. Ronzani	117
5571	TECNICHE DI ANALISI TERRITORIALE (08)	P. Secondini	153
6529	TECNOLOGIA CHIMICA DEL DISINQUINAMENTO (04) (05) (08) (10)	F.P. Foraboschi	275
2224	TECNOLOGIA DEI MATERIALI (02)	D. Veschi	210
1037	TECNOLOGIA MECCANICA (02)	F. Soavi	211
5574	TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO (06)	A. Tonielli	360
9269	TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO (03)	G. Marro	238
1046	TECNOLOGIE ELETTRICHE (03)	L. Simoni	239
9267	TECNOLOGIE ELETTRICHE (speciali) (03)	G.C. Montanari	240
2049	TECNOLOGIE GENERALI (07) (03)	G. Favretti	393
4115	TEORIA DEI SISTEMI (06 A-K) (07)	R. Guidorzi	361
4115	TEORIA DEI SISTEMI (06 L-Z)	S. Beghelli	361
4115	TEORIA DEI SISTEMI (07)	G. Basile	394
5692	TEORIA DEI SISTEMI E DEL CONTROLLO (civili)	G. Capitani Catelli	120
1142	TEORIA E SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI (04)	C. Stramigioli	278
1059	TERMOTECNICA DEL REATTORE (07)	E. Lorenzini	394
1061	TOPOGRAFIA (civili A-K)	M. Unguendoli	121
1061	TOPOGRAFIA (civili L-Z)	A. Gubellini	121
6804	TOPOGRAFIA (05)	G. Folloni	300
5751	TRAZIONE ELETTRICA E TERMICA (03)	E. Masi	241
2016	TRAZIONE E PROPULSIONE (10) (02)	M. Matassa	170
8081	TURBOMACCHINE (02)	R. Bettocchi	212

EQUIVALENZE FRA INSEGNAMENTI DEL NUOVO E DEL VECCHIO ORDINAMENTO

Ingegneria Civile

6461	Calcolo numerico e programmazione	(83)	Calcolo elettronico
5690	Costruzioni per l'industria	(350)	Fabbricati e costruzioni industriali
5691	Impianti idraulici	(518)	Impianti speciali idraulici
5692	Teoria dei sistemi e del controllo	(1382)	Controlli automatici

Ingegneria Meccanica

6462	Calcolo numerico e programmazione	(83)	Calcolo elettronico
6468	Dinamica e controllo delle macchine a fluido	(901)	Servocomandi e regolazione
1140	Misure meccaniche e termiche	(2019)	Misure meccaniche

Ingegneria Elettrotecnica

2237	Applicazioni industriali dell'elettrotecnica	(2468)	Complementi di elettrotecnica
4501	Calcolo numerico e programmazione	(189)	Complementi di matematiche (per Elettrot.) (per l'a.a. 1976/77 e sgg.)
86	Centrali elettriche	(4121)	Centrali e stazioni elettriche
5693	Chimica fisica dei materiali elettrici	(2025)	Chimica dei materiali elettrici
5694	Economia dell'ingegneria	(251)	Economia ed organizzazione aziendale
5695	Esercizio delle reti elettriche di energia	(508)	Impianti elettrici II
5843	Impianti elettrici	(506)	Impianti elettrici I
5696	Materiali per l'elettrotecnica	(4139)	Materiali speciali per l'elettrotecnica e l'elettronica
5697	Misure e regolazione degli impianti elettrici	(4151)	Strumentazione e regolazione degli impianti elettrici
5751	Trazione elettrica e termica	(1068)	Trazione elettrica

Ingegneria Chimica

5801	Analisi dei sistemi dell'ingegneria chimica	(4124)	Complementi di chimica industriale
6462	Calcolo numerico e programmazione	(83)	Calcolo elettronico
8545	Dinamica e controllo dei processi chimici	(4129)	Dinamica e controllo delle apparecchiature chimiche
2235	Scienza dei materiali	(1388)	Tecnologia dei materiali
1143	Strumentazione chimica	(1011)	Strumentazione chimica e analisi strumentale
5819	Sviluppo e disegno degli impianti chimici	(525)	Industria del petrolio e petrolchimica
1142	Teoria e sviluppo dei processi chimici	(2031)	Teoria e sviluppo dei processi

(segue)

Ingegneria Elettronica

6464	Calcolo numerico e programmazione	(83)	Calcolo elettronico
5698	Campi elettromagnetici e circuiti I	(84)	Campi elettromagnetici e circuiti
5699	Campi elettromagnetici e circuiti II	(2033)	Teoria dei circuiti
6465	Chimica fisica (per Elettronici)	(123)	Chimica fisica dello stato solido
4179	Comunicazioni elettriche I	(192)	Comunicazioni elettriche
5700	Comunicazioni elettriche II	(1025)	Tecnica delle comunicazioni elettriche
3694	Controlli automatici I	(196)	Controlli automatici
3695	Controlli automatici II	(4154)	Tecniche di controllo
5809	Elettronica applicata II	(4155)	Tecnica degli impulsi
4314	Elettronica applicata III	(2439)	Elettronica applicata II
5701	Metodi di ottimizzazione	(4132)	Elementi di analisi funzionale
2191	Microonde	(2032)	Tecnica delle microonde
5579	Reti logiche	(2041)	Reti logiche e calcolatori elettronici
884	Ricerca operativa	(2017)	Teoria e tecnica della ricerca operativa

Ingegneria Nucleare

6466	Ciclo del combustibile nucleare	(2077)	Impianti chimici nucleari
6471	Codici di calcolo per reattori nucleari	(1383)	Calcolo elettronico
2826	Combustibili nucleari	(2047)	Chimica nucleare
6469	Elementi di ingegneria del reattore nucleare	(2042)	Progetto del reattore nucleare
5804	Problemi matematici dei reattori nucleari	(189)	Complementi di matematiche (per Nucleari)
6470	Strumentazione e regolazione degli impianti nucleari	(1378)	Strumentazione e regolazione degli impianti

CALENDARIO LEZIONI ANNO ACCADEMICO 1989/90

a) *Insegnamenti a svolgimento intensivo*
Gli insegnamenti vengono impartiti in due cicli di lezioni:
I ciclo: dal 23 ottobre al 3 febbraio (vacanze natalizie: 21 dicembre - 7 gennaio).
Per il Corso di laurea in Ingegneria Civile: dal 6 novembre al 10 febbraio
II ciclo: dal 5 marzo al 2 giugno (vacanze pasquali: 12 aprile - 21 aprile).

b) *Insegnamenti a svolgimento estensivo*
I anno: dal 23 ottobre al 28 aprile.
Per gli altri anni stesso calendario dei corsi intensivi dello stesso anno di corso.
Le vacanze natalizie e pasquali sono le stesse dei corsi intensivi.

CALENDARIO ESAMI DI PROFITTO ANNO ACCADEMICO 1989/90

1) Sessione invernale anno accademico 1988/89	5 febbraio - 31 marzo 1990
2) Anticipo sessione estiva anno accademico 1989/90	5 febbraio - 30 aprile per gli esami delle materie del I ciclo; 2 aprile - 30 aprile per esami di materie la cui attestazione di frequenza sia stata conseguita in anni accademici precedenti.
3) Sessione estiva anno accademico 1989/90	2 maggio - 31 luglio
4) Sessione autunnale anno accademico 1989/90	3 settembre - 30 novembre
	4 settembre - 15 dicembre per gli studenti senza obblighi di frequenza
5) Sessione invernale anno accademico 1989/90	6 febbraio - 31 marzo 1991

ESAMI DI LAUREA

Anno accademico 1988/89:
7 dicembre 1989; 21 febbraio 1990; 21 marzo 1990.
Anno accademico 1989/90:
27 giugno 1990; 18 luglio 1990; 3 ottobre 1990; 5 dicembre 1990; 20 febbraio 1991; 20 marzo 1991.

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

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
I ANNO	1349 1357 1362 1366 1374	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica I Geometria				
II ANNO	1353 3656 1370 661 1378 1043	Analisi matematica II Disegno II Fisica II Litologia e geologia Meccanica razionale Tecnologia dei materiali e chimica applicata				
III ANNO	430 890 1061	Fisica tecnica Scienza delle costruzioni Topografia	490	Idraulica	275	Elettrotecnica
	Una materia dell'indirizzo di specializzazione scelto					
IV ANNO	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 ANNO	204 50	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti Architettura e composizione architettonica				
	Quattro materie dell'indirizzo di specializzazione scelto					
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**1. Indirizzo Architettura A**					
	4001 5570 85 3870 8079	Elementi di architettura tecnica (III) Storia dell'architettura e dell'urbanistica (III) Caratteri distributivi degli edifici (IV) Architettura e composizione architettonica II (V) Progetti per la ristrutturazione ed il risanamento edilizio (V)	9431	Complementi di topografia (V)	5568	Processi industriali applicati all'edilizia (V)

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

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
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**2. Indirizzo Architettura B**					
	8078	Progettazione urbanistica (III)	5690	Costruzioni per l'industria (V) (a)	5568	Processi industriali applicati all'edilizia (V)
	5570	Storia dell'architettura e dell'urbanistica (III)	9431	Complementi di topografia (V)		
	85	Caratteri distributivi degli edifici (IV)				
	1656	Fotogrammetria (IV)				
	3870	Architettura e composizione architettonica II (V)				
	2009	Complementi di tecnica urbanistica (V) (a)				
	3. Indirizzo Architettura C					
	4001	Elementi di architettura tecnica (III)	5690	Costruzioni per l'industria (V)	5568	Processi industriali applicati all'edilizia (V)
	5570	Storia dell'architettura e dell'urbanistica (IV)	9431	Complementi di topografia (V)		
	5572	Tecnica ed organizzazione dei cantieri (V)				
	8079	Progetti per la ristrutturazione ed il risanamento edilizio (V)				
	4. Indirizzo Architettura D					
	4001	Elementi di architettura tecnica (III)	6463	Istituzioni di diritto pubblico e privato (sem.) (IV)	2006	Acquedotti e fognature (sem.) (IV)
	1656	Fotogrammetria (IV)			5568	Processi industriali applicati all'edilizia (V) (a)
	5572	Tecnica ed organizzazione dei cantieri (V)	9431	Complementi di topografia (V)		
	8079	Progetti per la ristrutturazione ed il risanamento edilizio (V) (a)	5690	Costruzioni per l'industria (V)		
	5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V) (b)				
	5571	Tecniche di analisi territoriale (V) (b)				

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

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
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**5. Indirizzo Territorio A**					
	8078	Progettazione urbanistica (III)				
	5570	Storia dell'architettura e dell'urbanistica (III)				
	85	Caratteri distributivi degli edifici (IV)				
	1656	Fotogrammetria (IV)				
	2009	Complementi di tecnica urbanistica (V)				
	5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)				
	5571	Tecniche di analisi territoriale (V)				
	6. Indirizzo Territorio B					
	8078	Progettazione urbanistica (III)	6463	Istituzioni di diritto pubblico e privato (sem.) (IV) (a)	2006	Acquedotti e fognature (sem.) (IV) (a)
	1656	Fotogrammetria (IV)			9043	Ingegneria del territorio (V) (b)
	2009	Complementi di tecnica urbanistica (V)	1031	Tecnica ed economia dei trasporti (IV) (a)		
	5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)	9431	Complementi di topografia (V)		
	5571	Tecniche di analisi territoriale (V)	4131	Difesa e conservazione del suolo (V) (b)		
	7. Indirizzo Ambiente					
	1656	Fotogrammetria (IV)	6463	Istituzioni di diritto pubblico e privato (sem.) (III)	2006	Acquedotti e fognature (sem.) (III)
	3751	Ingegneria sanitaria (V)				
	5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)	5564	Acustica applicata e illuminotecnica (V)		
	5571	Tecniche di analisi territoriale (V)	4131	Difesa e conservazione del suolo (V)		
			6529	Tecnologia chimica del disinquinamento (V)		

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

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
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**8. Indirizzo Costruzioni A**					
	4001	Elementi di architettura tecnica (III)	6461	Calcolo numerico e programmazione (III)	6200	Dinamica delle strutture (IV)
	5565	Analisi strutturale con elaboratore elettronico (V)	2007	Geotecnica (sem.) (V)	2816	Complementi di scienza delle costruzioni (IV)
	2010	Complementi di tecnica delle costruzioni (V)	4136	Ingegneria sismica (sem.) (V)	2008	Tecnica delle fondazioni (sem.) (V)
	198	Costruzione di ponti (V)	3971	Sperimentazione dei materiali e delle strutture (sem.) (V)	9046	Strutture speciali (sem.) (V)
	4053	Costruzioni metalliche (V)				
	9. Indirizzo Costruzioni B					
	198	Costruzione di ponti (V)	6461	Calcolo numerico e programmazione (III)	6200	Dinamica delle strutture (IV)
	2010	Complementi di tecnica delle costruzioni (V)	2007	Geotecnica (sem.) (V)	2816	Complementi di scienza delle costruzioni (IV)
	4053	Costruzioni metalliche (V)	9431	Complementi di topografia (V)	2008	Tecnica delle fondazioni (sem.) (V)
	5565	Analisi strutturale con elaboratore elettronico (V)	4136	Ingegneria sismica (sem.) (V)	9046	Strutture speciali (sem.) (V)
	10. Indirizzo Costruzioni C					
	4001	Elementi di architettura tecnica (III)	9431	Complementi di topografia (V)	2816	Complementi di scienza delle costruzioni (IV)
	2010	Complementi di tecnica delle costruzioni (V)	2007	Geotecnica (sem.) (V)	6200	Dinamica delle strutture (IV)
	5572	Tecnica ed organizzazione dei cantieri (V)	4136	Ingegneria sismisca (sem.) (V)	5568	Processi industriali applicati all'edilizia (V)
			3971	Sperimentazione dei materiali e delle strutture (sem.) (V)	9046	Strutture speciali (sem.) (V)
					2008	Tecnica delle fondazioni (sem.) (V)
	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)		
	522	Impianti tecnici civili (V)				
	5572	Tecnica ed organizzazione dei cantieri (V)	9431	Complementi di topografia (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.
(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 1989-90

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
I ANNO	1349 1357 1362 1366 1374	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica I Geometria				
II ANNO	1353 3656 1370 661 1378 1043	Analisi matematica II Disegno II Fisica II Litologia e geologia Meccanica razionale Tecnologia dei materiali e chimica applicata				
III ANNO	430 890 1061	Fisica tecnica Scienza delle costruzioni Topografia	490 496	Idraulica Idrologia e idrografia	275	Elettrotecnica
IV ANNO	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 ANNO	204 5691 5705	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti Impianti idraulici Tecnica della progettazione idraulica				
	Tre materie dell'indirizzo di specializzazione scelto					
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**1. Indirizzo Costruzioni**					
	2014 2010 198	Costruzioni marittime e fluviali (IV) Complementi di tecnica delle costruzioni (V) Costruzione di ponti (V)	2007 9431 4131	Geotecnica (sem.) (IV) Complementi di topografia (V) Difesa e conservazione del suolo (V)	2008	Tecnica delle fondazioni (sem.) (V)
	2. Indirizzo Indraulica teorica					
			690 2015 2013	Meccanica dei giacimenti di idrocarburi (IV) Controlli idraulici e pneumatici (V) Misure e modelli idraulici (V)	2	Aerodinamica (V)

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

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
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**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					
	1656 5569	Fotogrammetria (IV) Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)	4121 5692 9431 4131	Consolidamento dei terreni (IV) Teoria dei sistemi e del controllo (IV) Complementi di topografia (V) Difesa e conservazione del suolo (V)		
	5. Indirizzo Ambiente					
	1656 3751 5569	Fotogrammetria (IV) Ingegneria sanitaria (V) Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)	5692 4131 2013	Teoria dei sistemi e del controllo (IV) Difesa e conservazione del suolo (V) Misure e modelli idraulici (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.
(*) 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 1989-90

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
I ANNO	1349 1357 1362 1366 1374	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica I Geometria				
II ANNO	1353 3656 1370 661 1378 1043	Analisi matematica II Disegno II Fisica II Litologia e geologia Meccanica razionale Tecnologia dei materiali e chimica applicata				
III ANNO	430 890 1061	Fisica tecnica Scienza delle costruzioni Topografia	490	Idraulica	275	Elettrotecnica
	Una materia dell'indirizzo di specializzazione scelto					
IV ANNO	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					
V ANNO	198 204	Costruzione di ponti Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti			447	Fondamenti di economia ed estimo
	Tre materie dell'indirizzo di specializzazione scelto					
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**1. Indirizzo Costruzioni**					
	2010	Complementi di tecnica delle costruzioni (V)	5692 9431 4125 2007	Teoria dei sistemi e del controllo (III) Complementi di topografia (V) Consolidamento dei terreni (V) Geotecnica (sem.) (V)	5797 1956 2008 2011	Complementi di costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti (V) Complementi di tecnica ed economia dei trasporti (V) Tecnica delle fondazioni (sem.) (V) Tecnica della circolazione (IV) (V)

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

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
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**2. Indirizzo Territorio**					
	1656 2009 2014	Fotogrammetria (IV) Complementi di tecnica urbanistica (V) Costruzioni marittime e fluviali (V)	5692 9431	Teoria dei sistemi e del controllo (III) Complementi di topografia (V)	1656 2011	Complementi di tecnica ed economia dei trasporti (V) Tecnica della circolazione (IV) (V)
	3. Indirizzo Ambiente					
	1556 5569	Fotogrammetria (IV) Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)	5692 5564 6529 2016	Teoria dei sistemi e del controllo (III) Acustica applicata e illuminotecnica (V) Tecnologia chimica del disinquinamento (V) Trazione e propulsione (V)	2011	Tecnica della circolazione (IV) (V)
	4. Indirizzo Trazione					
			5692 199 2016	Teoria dei sistemi e del controllo (III) Costruzioni aeronautiche (V) Trazione e propulsione (V)	1956 2011	Complementi di tecnica ed economia dei trasporti (V) Tecnica della circolazione (IV) (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.

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA - COD. 2002					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I ANNO	1350 1358 1363 1367 1375	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica I Geometria				
II ANNO	1354 92 3781 1371 1379	Analisi matematica II Chimica applicata Disegno II Fisica II Meccanica razionale				
III ANNO			6794 6796 6801	Elettrotecnica Fisica tecnica Scienza delle costruzioni	6799 687 1037	Idraulica Meccanica applicata alle macchine Tecnologia meccanica
IV ANNO			201 1140	Costruzioni di macchine Misure meccaniche e termiche	9268 4022 670	Economia ed organizzazione aziendale Macchine Macchine utensili
	Una o due materie dell'indirizzo di specializzazione scelto					
V ANNO			2018 515 818	Complementi di macchine Impianti meccanici Progetti di macchine	6468	Dinamica e controllo delle macchine a fluido
	Tre o due materie dell'indirizzo di specializzazione scelto					
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**1. Indirizzo Costruttivo I**					
			6462 9044	Calcolo numerico e programmazione (IV) Macchine ed impianti elettrici (IV)	4117 20022 6472 5798	Analisi sperimentale delle tensioni (V) Complementi di costruzione di macchine (V) Complementi di meccanica applicata (V) (*) Costruzione di macchine automatiche (V) (*)

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA - COD. 2002					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**2. Indirizzo Costruttivo II**					
			6462	Calcolo numerico e programmazione (IV)	4117	Analisi sperimentale delle tensioni (V) (*)
			2224	Tecnologia dei materiali (IV)	2022	Complementi di costruzione di macchine (V)
			886	Scienza dei metalli (V)	6472	Complementi di meccanica applicata (V)
					9612	Meccanica applicata alle macchine (avanzato) (V)
					5799	Progettazione assistita di strutture meccaniche (V) (*)
	3. Indirizzo Impiantistico					
			6462	Calcolo numerico e programmazione (IV)	8076	Complementi di impianti meccanici (V)
					6541	Impianti tecnici industriali (V)
					2020	Organizzazione della produzione (V)
					6937	Pianificazione degli impianti meccanici (V)
					4146	Strumentazione industriale (V)
	4. Indirizzo Macchine a fluido					
			6462	Calcolo numerico e programmazione (IV)	2	Aerodinamica (IV) (*)
			1059	Termotecnica del reattore (V)	5799	Progettazione assistita di strutture meccaniche (V)
			2016	Trazione e propulsione (V)	8081	Turbomacchine (V) (*)

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA - COD. 2002					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**5. Indirizzo Tecnologico**					
			6462	Calcolo numerico e programmazione (IV)	4117	Analisi sperimentale delle tensioni (V)
			9044	Macchine e impianti elettrici (IV)	2022	Complementi di costruzione di macchine (V)
			2224	Tecnologia dei materiali (IV) (*)	5798	Costruzione di macchine automatiche (V)
			886	Scienza dei metalli (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)		

1. Il numero complessivo degli insegnamenti è di 29 annualità.
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 per l'indirizzo.

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTROTECNICA - COD. 2003					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I ANNO	1364	Disegno	1352 1361	Analisi matematica I Chimica	1369 1377	Fisica I Geometria
II ANNO			1356 1372	Analisi matematica II Fisica II	4501 1381 5693 2004	Calcolo numerico e programmazione Meccanica razionale Un insegnamento a scelta fra: Chimica fisica dei materiali elettrici Metodi di osservazione e misura
III ANNO			277 6797 8075	Elettrotecnica I Fisica tecnica Scienza delle costruzioni	279 8074 8073	Elettrotecnica II Macchine Meccanica applicata alle macchine
IV ANNO			5843 270 666	Impianti elettrici Elettronica applicata Macchine elettriche	196 5695 732	Controlli automatici Esercizio delle reti elettriche di energia Misure elettriche
V ANNO			1046 5694	Tecnologie elettriche Economia dell'ingegneria		
	Cinque materie dell'indirizzo di specializzazione scelto					
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**1. Indirizzo Macchine Elettriche**					
			4118 5697	Complementi di macchine elettriche (*) Misure e regolazione degli impianti elettrici	81 205 2237 2037 5751	Calcolo delle macchine elettriche (*) Costruzioni elettromeccaniche (*) Applicazioni industriali dell'elettrotecnica Elettronica industriale Trazione elettrica e termica
	2. Indirizzo Impianti Elettrici					
			5697 9269	Misure e regolazione degli impianti Tecnologie dei sistemi di controllo	4153 2237 86 4134 9267	Tecnica delle alte tensioni (*) Applicazioni industriali dell'elettrotecnica (*) Centrali elettriche (*) Impianti idroelettrici e di rivalutazione dell'energia (1) Tecnologie elettriche (speciali) (2)

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTROTECNICA - COD. 2003					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**3. Indirizzo Tecnologie Elettriche**					
			9041	Elementi di fisica e di ingegneria dei plasmi	5693	Chimica fisica dei materiali elettrici (*)
			9269	Tecnologie dei sistemi di controllo	4153	Tecnica delle alte tensioni (*)
					2049	Tecnologie generali
					9267	Tecnologie elettriche (speciali) (*) (2)
					5696	Materiali spec. per l'elettrotecnica
	4. Indirizzo Elettronica di potenza					
			9269	Tecnologie dei sistemi di controllo (*)	2237	Applicazioni industriali dell'elettrotecnica (*)
			4138	Linguaggi di programmazione	205	Costruzioni elettromeccaniche
			5697	Misure e regolazione degli impianti elettrici	2037	Elettronica industriale (*)
					2126	Misure elettroniche
					5751	Trazione elettrica e termica
	5. Indirizzo Trasporti					
			1031	Tecnica ed economia dei trasporti (*)	2237	Applicazioni industriali dell'elettrotecnica (*)
			4118	Complementi di macchine elettriche	5751	Trazione elettrica e termica (*)
					81	Calcolo delle macchine elettriche
					205	Costruzioni elettromeccaniche
					2011	Tecnica della circolazione

1. Deve essere sostituito, su domanda, con «6799 Idraulica» (Legge 11/12/1969 n° 910).
2. L'insegnamento «9267 Tecnologie elettriche (speciali)» è stato inserito nell'Ordine degli studi ai sensi dell'art. 92 del D.P.R. 382/80 per sperimentare un frazionamento del programma della disciplina «Tecnologie elettriche».

— Il numero complessivo degli insegnamenti è di 29 annualità.

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

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

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
I ANNO	1351 1360 4685 1368 1376	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica I Geometria				
II ANNO	1355 1373 1380	Analisi matematica II Fisica II Meccanica razionale	148	Chimica organica	6792	Chimica applicata
III ANNO			6462 6793 6797	Calcolo numerico e programmazione Elettrotecnica Fisica tecnica	122 814 6801	Chimica fisica Principi di ingegneria chimica Scienza delle costruzioni
IV ANNO			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 ANNO			137 502 1143	Chimica industriale Impianti chimici II Strumentazione chimica		
	Tre materie dell'indirizzo di specializzazione scelto					
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**1. Indirizzo Materiali**					
			2021	Metallurgia e metallografia (IV)	5802 1142 5693 115 2030	Proprietà termodinamiche e di trasporto (IV) Teoria e sviluppo dei processi chimici (IV) Chimica fisica dei materiali elettrici (V) Chimica e tecnologia dei prodotti ceramici (V) Costruzione di apparecchiature chimiche (V)

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

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
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**2. Indirizzo Processi — Impianti**					
			6529	Tecnologia chimica del disinquinamento (V)	5802	Proprietà termodinamiche e di trasporto (IV)
					1142	Teoria e sviluppo dei processi chimici (IV)
					5801	Analisi dei sistemi dell'ingegneria chimica (V)
					8545	Dinamica e controllo dei processi chimici (V)
					9042	Impianti chimici III (V)
					5819	Sviluppo e disegno degli impianti chimici (V)
	3. Indirizzo Ambiente					
	5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (IV)	6529	Tecnologia chimica del disinquinamento (V)	1142	Teoria e sviluppo dei processi chimici (IV)
					2006	Acquedotti e fognature (sem.) (V)
					5801	Analisi dei sistemi dell'ingegneria chimica (V)
					4137	Legislazione mineraria (sem.) (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 di corso in cui l'insegnamento può essere inserito nel piano di studi.

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

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
I ANNO	1349 1358 1364 1366 1374	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica I Geometria				
II ANNO	1353 1370 1378	Analisi matematica II Fisica II Meccanica razionale	5725	Mineralogia e petrografia	464 3781 6462	Geologia *un insegnamento a scelta tra:* Disegno II (estensivo) (°) *oppure* Calcolo numerico e programmazione
III ANNO	92 430 890	Chimica applicata Fisica tecnica Scienza delle costruzioni	275	Elettrotecnica	482	Giacimenti minerari
IV ANNO			663 4114 690	Macchine Meccanica delle rocce Meccanica dei giacimenti di idrocarburi	54 1385 6804	Arte mineraria Meccanica applicata alle macchine 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 ANNO			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)*					
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**1. Indirizzo Miniere e Cave**					
	9047	Tecnica delle costruzioni (IV)	2007 4135 9040 4125 805	Geotecnica (sem.) (IV) Idrogeologia applicata (sem.) (IV) Complementi di arte mineraria (V) (*) Consolidamento dei terreni (V) Preparazione dei minerali (V) (*)	4137 9268	Legislazione mineraria (sem.) (IV) Economia ed organizzazione aziendale (V)

(segue)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

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
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**2. Indirizzo Idrocarburi e Fluidi del sottosuolo**					
			2007	Geotecnica (sem.) (IV)	4137	Legislazione mineraria (sem.) (IV)
			4135	Idrogeologia applicata (sem.) (IV) (*)	6462	Calcolo numerico e programmazione (V)
			731	Misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi (V) (*)		
			816	Produzione e trasporto degli idrocarburi (V) (*)		
			6529	Tecnologia chimica del disinquinamento (V)		
	3. Indirizzo Geotecnico-costruttivo					
	9047	Tecnica delle costruzioni (IV) (*)	2007	Geotecnica (sem.) (IV) (*)	6462	Calcolo numerico e programmazione (V)
			4135	Idrogeologia applicata (sem.) (IV)	2008	Tecnica delle fondazioni (sem.) (V) (*)
			9040	Complementi di arte mineraria (V)		
			4125	Consolidamento dei terreni (V)		
			805	Preparazione dei minerali (V)		
	4. Indirizzo Ambiente e Territorio					
	9047	Tecnica delle costruzioni (IV)	2007	Geotecnica (sem.) (IV)	4137	Legislazione mineraria (sem.) (IV) (*)
			4135	Idrogeologia applicata (sem.) (IV) (*)		
			9040	Complementi di arte mineraria (V)		
			4125	Consolidamento dei terreni (V)		
			4131	Difesa e conservazione del suolo (V) (*)		
			6529	Tecnologia chimica del disinquinamento (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.

(°) Sostituibile, su domanda, da «6462 Calcolo numerico e programmazione» (Legge 11/12/1969 n° 910).
(*) Insegnamento caratterizzante, obbligatorio per l'indirizzo.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - COD. 2006 - (1), (2), (7)				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
Insegnamenti comuni a tutti i piani di studio				
I	1352 6297	Analisi matematica I Elementi di informatica	1361 1369 1377	Chimica Fisica I Geometria
II	1356 1372 9240	Analisi matematica II Fisica II Programmazione dei calcolatori elettronici	6795 1381 2004	Elettrotecnica I Meccanica razionale Metodi di osservazione e misura
III	189 5579 6795	Complementi di matematiche Reti logiche Elettrotecnica I (3)	4179 2438 4115	Comunicazioni elettriche I Elettronica applicata I Teoria dei sistemi
IV	5698 3694 5579	Campi elettromagnetici e circuiti I Controlli automatici I Reti logiche (4)	5809 3980	Elettronica applicata II Sistemi per l'elaborazione dell'informazione
V	251 1386	Economia ed organizzazione aziendale Misure elettriche		
Il piano di studi, consistente di 29 distinte annualità, deve comprenderne almeno due caratterizzanti l'indirizzo scelto e può comprenderne al massimo due scelte da altri indirizzi (senza garanzia di compatibilità di orario).				
Piani di studio con indirizzo Automazione				
Insegnamenti obbligatori per l'indirizzo:				
III	6798 6802	Un insegnamento a scelta fra: Fisica tecnica Scienza delle costruzioni		
V			2632	Meccanica delle macchine e macchine
Insegnamenti consigliati per l'indirizzo:				
IV			4126	Controllo dei processi (*)
V	5574 9241 5700 4138	Tecnologie dei sistemi di controllo (*) Complementi di macchine elettriche Comunicazioni elettriche II Linguaggi di programmazione	3695 4126 3716 2037	Controlli automatici II (*) Controllo dei processi (*) (5) Calcolatori elettronici Elettronica industriale
Piani di studio con indirizzo Bioingegneria				
Insegnamenti obbligatori per l'indirizzo				
	6798 6802	Un insegnamento a scelta fra: Fisica tecnica Scienza delle costruzioni		
Insegnamenti consigliati per l'indirizzo				
IV	9602	Biomeccanica e biomacchine (*)	4152	Strumentazione biomedica (*)
V	3569 884	Bioautomatica (*) Ricerca operativa	1679 4152 3716 5573 2632 877	Automazione e organizzazione sanitaria (*) Strumentazione biomedica (*) (5) Calcolatori elettronici Gestione dell'informazione Meccanica delle macchine e macchine Radiotecnica

(segue)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - COD. 2006 - (1), (2), (7)				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
Piani di studio con indirizzo Gestionale				
Insegnamenti obbligatori per l'indirizzo				
III	6798 884 6802	Fisica tecnica Ricerca operativa (*) Scienza delle costruzioni		
Insegnamenti consigliati per l'indirizzo:				
IV			5701	Metodi di ottimizzazione (*)
V	884 5700 504 4138 1031	Ricerca operativa (*) (5) Comunicazioni elettriche II Impianti elettrici Linguaggi di programmazione Tecnica ed economia dei trasporti	5573 5701 3716 2020 4126 2632 2011	Gestione dell'informazione (*) Metodi di ottimizzazione (*) (5) Calcolatori elettronici Organizzazione della produzione Un insegnamento a scelta fra: Controllo dei processi Meccanica delle macchine e macchine Tecnica della circolazione
Piani di studio con indirizzo Informatica				
Insegnamenti obbligatori per l'indirizzo:				
III	 6798 6802	Un insegnamento a scelta fra: Fisica tecnica Scienza delle costruzioni		
Insegnamenti consigliati per l'indirizzo				
IV	4138	Linguaggi di programmazione (*)	5573	Gestione dell'informazione (*)
V	4138 5700 4314	Linguaggi di programmazione (*) (5) Comunicazioni elettriche II Elettronica applicata III	3716 9239 5573 2037 2632	Calcolatori elettronici (*) Sistemi per l'elabor. dell'inform. (avanzato) (*) (6) Gestione dell'informazione (*) (5) Elettronica industriale Meccanica delle macchine e macchine
Piani di studio con indirizzo Microelettronica				
Insegnamenti obbligatori per l'indirizzo:				
III	 6465 6798 6802	Un insegnamento a scelta fra: Chimica fisica (*) Fisica tecnica Scienza delle costruzioni		
V			877	Radiotecnica
Insegnamenti consigliati per l'indirizzo:				
IV			5702	Microelettronica (*)
V	6465 4314 2034 5699	Chimica fisica (*) (5) Elettronica applicata III (*) Elettronica quantistica (*) Campi elettromagnetici e circuiti II	5702 3716 2037 2044 2632	Microelettronica (*) (5) Calcolatori elettronici Elettronica industriale Strumentazione elettronica Meccanica delle macchine e macchine

(segue)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - COD. 2006 - (1), (2)				
Anno di corso	N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
Piani di studio con indirizzo Telecomunicazioni				
Insegnamenti obbligatori per l'indirizzo:				
III	6798 6802	Un insegnamento a scelta fra: Fisica tecnica Scienza delle costruzioni		
IV			877	Radiotecnica
V			877	Radiotecnica (5)
Insegnamenti consigliati per l'indirizzo				
	5699 5700 4314 4138	Campi elettromagnetici e circuiti II (*) Comunicazioni elettriche II (*) Elettronica applicata III Linguaggi di programmazione	3697 2191 3716 2044 2632	Elettroacustica (*) Microonde (*) Calcolatori elettronici Strumentazione elettronica Meccanica delle macchine e macchine

(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: 6795 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. 1989/90; 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 1989/90 al terzo anno di corso senza aver acquisito la firma di frequenza di questo insegnamento.

(4) Solo per gli studenti che si iscrivono nel 1989/90 al quarto anno di corso senza aver acquisito la firma di frequenza di questo insegnamento.

(5) Solo per gli studenti che si iscrivononel 1989/90 al quinto anno di corso senza aver acquisito la firma di frequenza di questo insegnamento.

(6) L'insegnamento «9239 Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (avanzato)» è stato inserito nell'ordine degli studi ai sensi dell'art. 92 della legge 382/80 per sperimentare un frazionamento del programma della disciplina «Sistemi per l'elaborazione dell'informazione». L'insegnamento avanzato può quindi essere inserito soltanto in piani di studio contenenti anche l'insegnamento «3980 Sistemi per l'elaborazione dell'informazione».

(*) Sono contrassegnati con asterisco gli insegnamenti che caratterizzano ciascun indirizzo.

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE - COD. 2007					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
I ANNO	1351	Analisi matematica I				
	1359	Chimica				
	1364	Disegno				
	1368	Fisica I				
	1376	Geometria				
II ANNO	1355	Analisi matematica II				
	1373	Fisica II				
	406	Fisica atomica				
	1380	Meccanica razionale				
	Una materia dell'indirizzo di specializzazione scelto					
III ANNO			8082	Elettrotecnica	2631	Meccanica delle macchine
			422	Fisica nucleare		
			6797	Fisica tecnica	5804	Problemi matematici dei reattori nucleari
					6801	Scienza delle costruzioni
	Una materia dell'indirizzo di specializzazione scelto					
IV ANNO			6469	Elementi di ingegneria del reattore nucleare	6467	Cinetica e controllo del reattore nucleare
			409	Fisica del reattore nucleare	4313	Macchine
					271	Elettronica nucleare
	Una materia dell'indirizzo di specializzazione scelto					
V ANNO			517	Impianti nucleari	730	Misura delle radiazioni e protezione
			1059	Termotecnica del reattore		
	Tre materie dell'indirizzo di specializzazione scelto					

(*segue*)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1989-90

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE - COD. 2007					
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo			
	N. COD.		N. COD.	I CICLO	N. COD.	II CICLO
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	**1. Indirizzo Impianti**					
			2826	Combustibili nucleari (III)	4501	Calcolo numerico e programmazione (II)
			2046	Chimica fisica dei materiali nucleari (IV)	1044	Tecnologia dei materiali nucleari (II)
			9430	Calcolo termomeccanico di componenti nucleari (V)	2049	Tecnologie generali (III)
					6803	Teoria dei sistemi (III)
					4117	Analisi sperimentale delle tensioni (IV)
					196	Controlli automatici (IV)
					1384	Costruzione di macchine (IV)
					9432	Analisi di sicurezza degli impianti nucleari (V)
					205	Costruzioni elettromeccaniche (V)
					9045	Progetto termomeccanico del nocciolo (V)
					6470	Strumentazione e regolazione degli impianti nucleari (V)
	2. Indirizzo Neutronica e Plasmi					
			2826	Combustibili nucleari (III)	4501	Calcolo numerico e programmazione (II)
			2046	Chimica fisica dei materiali nucleari (IV)	1044	Tecnologia dei materiali nucleari (II)
			2468	Complementi di elettrotecnica (IV)	6803	Teoria dei sistemi (III)
			4127	Complementi di neutronica (IV)	4140	Neutronica applicata (V)
			9041	Elementi di fisica e di ingegneria dei plasmi (V)	6470	Strumentazione e regolazione degli impianti nucleari (V)
			6806	Reattori avanzati (V)		

1. Il numero complessivo degli insegnamenti è di 29 annualità.
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.

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.

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 quattro 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*).

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») 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», «Costruzioni aeronautiche»), utilizzando moderne metodologie di studio («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).

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 appro-

fondire 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 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 e Aeronautica

Gli insegnamenti di questo indirizzo, caratterizzato da Tecnica ed economia dei trasporti e da Costruzioni aeronautiche, 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 ELETTROTECNICA

Il Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica fornisce una preparazione interdisciplinare che consente una apertura a diversi campi dell'Ingegneria. Negli ultimi anni ha seguito l'evoluzione tecnologica apportata dal grande sviluppo dell'elettronica e dell'informatica, pur mantenendo fondamentalmente la caratteristica che è nella sua tradizione: tendere alla formazione di un ingegnere di vasta apertura tecnica e culturale, che possa consentirgli destinazioni assai diverse e anche non strettamente attinenti alla specializzazione conseguita.

Il settore culturale fondamentale del Corso di Laurea riguarda la produzione, il trasporto e l'utilizzazione dell'energia elettrica, ma proprio la grande varietà di macchine e apparati che si incontrano in tali settori rende necessaria una consistente preparazione in molti campi dell'Ingegneria, dalla meccanica all'elettronica, dai materiali all'informatica. Di qui il costante richiamo interdisciplinare che caratterizza il Corso di Laurea e che permette all'ingegnere elettrotecnico di divenire un professionista ed un ricercatore poliedrico, in grado di emergere in molti settori della tecnica e della scienza.

Il curriculum degli studi in Ingegneria Elettrotecnica prevede 24 esami comuni e 5 a scelta. Sono previsti 5 indirizzi di specializzazione, e precisamente:

Macchine elettriche

— Approfondisce lo studio delle macchine elettriche e fornisce le basi per la loro progettazione elettromagnetica e meccanica.

Impianti elettrici

— Concerne essenzialmente i grandi sistemi elettrici di potenza, con particolare riguardo alle centrali termiche e termonucleari e alla trasmissione ad altissima tensione.

— Tecnologie elettriche
Si occupa dello studio e delle caratteristiche dei materiali per l'Ingegneria elettrica e delle tecnologie relative.

— Elettronica di potenza
Riguarda essenzialmente la utilizzazione dei dispositivi elettronici (a semiconduttore) nei sistemi elettrici di potenza.
— Trasporti
Si occupa prevalentemente dei problemi connessi alla trazione elettrica.

Tre esami di ogni indirizzo sono caratterizzanti l'indirizzo stesso; gli altri due sono a scelta degli studenti fra quattro consigliati. Ai sensi della legge 910 è possibile la scelta anche fra i corsi degli altri indirizzi e perfino, nello spirito di quella ampiezza culturale che si desidera contraddistingua il corso di laurea, con qualunque altro corso compreso nel manifesto degli studi della Facoltà.

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:

BIBLIOTECA

— 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

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.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

Elettronica — Con questa parola si designa oggi un vasto ed articolato complesso di discipline, che hanno avuto origine dallo studio delle proprietà e delle applicazioni di particolari categorie di strutture (o «dispositivi») il cui modo di funzionare è determinato dalle particolarità dei movimenti degli elettroni nel vuoto o entro corpi solidi. Esempi tipici di queste strutture sono gli oscillografi ed i cinescopi, le valvole ad alto vuoto dei trasmettitori radio e TV di grande potenza, i circuiti integrati a semiconduttori (o «microcircuiti»). Con tali dispositivi si costruiscono i «sistemi» elettronici utilizzati in una enorme varietà di applicazioni civili, industriali e militari: le grandi reti di telefonia e dati, gli impianti di radio e telediffusione, i sistemi di assistenza alla navigazione aerea e marittima, i sistemi di controllo elettronico delle macchine e degli impianti, i calcolatori elettronici, questi ultimi inseriti a loro volta, in diverse forme, nella maggior parte delle apparecchiature elettroniche esistenti e divenuti strumenti indispensabili nella gestione di tutte le attività organizzate.

Si comprende così da un lato come le discipline elettroniche possano ricondursi a pochi grandi filoni di conoscenza, che attengono rispettivamente alla Microelettronica, all'Informatica, alle Telecomunicazioni ed ai Controlli automatici e, d'altra parte, come una seria preparazione di base dell'Ingegnere elettronico debba dare ragionevoli spazi ad una non superficiale introduzione a ciascuno di tali grandi filoni, pur privilegiando l'uno o l'altro con una conveniente scelta delle materie di indirizzo. Tanto più che la realtà professionale comporta assai di frequente spostamenti di attività e, sempre, la necessità di interagire con specialisti di altri settori.

Inoltre l'evoluzione delle discipline elettroniche è così rapida che una specializzazione spinta non può essere acquisita altro che nell'esercizio dell'attività professionale, la quale impone un continuo aggiornamento, di volta in volta, nello specifico settore in cui il professionista si trova ad operare. Al Corso di laurea in Ingegneria Elettronica spetta il fondamentale e difficile compito di dare ai futuri professionisti le conoscenze di base necessarie, le aperture intellettuali ed un orientamento specializzato che sappia conciliare le esigenze di astrazione, che occorrono per dominare discipline applicative con solide radici scientifiche, con le esigenze di concretezza tipiche della mentalità ingegneristica.

Le strutture di supporto alla didattica sono messe a disposizione prevalentemente dal Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica; in particolare esso consente l'accesso ai mezzi di calcolo e laboratori destinati alla ricerca ai Laureandi che svolgano Tesi sperimentali, mentre per le esercitazioni collegate ai vari Insegnamenti mette a disposizione di tutti gli studenti:

— il laboratorio multidiscplinare LAB1
— la sala personal.

Il Corso di laurea prevede un gruppo comune di discipline di base e si articola in sei indirizzi, i cui insegnamenti possono essere scelti dallo studente al quarto o al quinto anno.

Indirizzo Telecomunicazioni

L'indirizzo Telecomunicazioni è destinato ad approfondire lo studio dei complessi fenomeni che riguardano la manipolazione ed il trasferimento delle informazioni su mezzi trasmissivi di varia natura. Tale studio è attualmente oggetto dei corsi fondamentali di Comunicazioni Elettriche I, Campi Elettromagnetici e Circuiti I e Radiotecnica, nei quali vengono forniti criteri generali di progetto dei collegamenti per telecomunicazioni, prevalentemente analizzati da un punto di vista sistemistico ed impiantistico.

L'obiettivo generale di acquisire un certo grado di conoscenza sulle reti di telecomunicazioni, che ne consentano il dimensionamento utilizzando le varie tecniche di trasmissione, commutazione e segnalazione, è tuttora necessariamente affidato (nelle varie sedi universitarie, come nella nostra) a corsi di indirizzo, così come gli approfondimenti culturali verso gli aspetti applicativi più rilevanti del settore. Fra questi, certamente importanti e quindi considerati nei corsi impartiti, l'analisi dei sistemi di trasmissione in fibra ottica, di cui è necessario esaminare, da un punto di vista elettromagnetico, gli elementi principali, ossia il mezzo trasmissivo, le sorgenti e i rivelatori; l'introduzione alla conoscenza ed alle applicazioni dei circuiti integrati per microonde, parte fondamentale dei moderni sistemi realizzati a stato solido; l'individuazione di metodologie per lo studio delle parti ad altissima frequenza dei sistemi di trasmissione e relativi criteri di progetto.

Altri corsi, meno specifici per l'indirizzo, sono inclusi in esso allo scopo di fornire all'allievo che lo desideri una preparazione anche diversificata ma su argomenti che conservano una precisa finalizzazione verso dispositivi, apparati e sistemi per telecomunicazioni.

Indirizzo Microelettronica

Con questo indirizzo viene data una solida introduzione alla conoscenza dei principi fisici, dei metodi di progetto e delle tecnologie di fabbricazione dei dispositivi a semiconduttori e dei circuiti integrati con cui si realizzano oggi tutti i sistemi elettronici. La conoscenza della Microelettronica è indispensabile ad una vasta cerchia di professionisti operanti non solo nell'area specifica della costruzione dei circuiti integrati, ma anche in quella più ampia dei sistemi sia per l'importanza sempre maggiore che vi assumono i microcircuiti, sovente di tipo «custom» (cioè progettati dallo stesso costruttore di sistemi od almeno in collaborazione con esso e per suo esclusivo uso), sia in relazione ai fondamentali problemi dell'affidabilità.

L'insegnamento di Elettronica Applicata III è dedicato allo studio dei fenomeni fisici di base ed allo sviluppo dei modelli matematici necessari alla progettazione; quello di Microelettronica sviluppa lo studio approfondito dei processi tecnologici e, parallelamente, quello

della progettazione dei dispositivi e di semplici circuiti integrati, evidenziandone la stretta connessione; l'insegnamento di Elettronica Quantistica tratta in modo ragionevolmente completo del particolare settore dei dispositivi «optoelettronici», in cui si ha interazione fra segnali luminosi e segnali elettrici, illustrandone le principali applicazioni (laser, olografia, rivelatori per infrarosso, ecc.). Gli altri insegnamenti dell'indirizzo consentono all'allievo che lo desideri di approfondire alcuni argomenti di base od applicativi bene inquadrati nel contesto della Microelettronica.

Indirizzo Automazione

L'indirizzo Automazione ha lo scopo di estendere ed approfondire la conoscenza delle teorie e tecniche relative al controllo automatico e, più in generale, all'automazione degli impianti. Le conoscenze di base, infatti, specifiche in questo indirizzo, sono fornite dai due insegnamenti obbligatori di Teoria dei Sistemi, che tratta le proprietà generali dei sistemi dinamici, e di Controlli automatici I, che riguarda l'analisi e il progetto dei sistemi di controllo in retroazione, caratterizzati da una sola variabile controllata e da specifiche relativamente semplici.

Poiché con lo sviluppo dell'automazione mediante i calcolatori elettronici le esigenze operative e progettuali sono divenute più severe e complesse, nei corsi a scelta che costituiscono l'indirizzo sono esposti i metodi di *identificazione*, cioè di definizione su base sperimentale di modelli matematici dei sistemi da controllare idonei alla soluzione del problema di controllo; sono descritte tecniche di controllo più avanzate, con particolare riguardo per il *controllo multivariabile*, che tratta il caso di più variabili controllate, *il controllo ottimo*, con cui si intende rendere minimo o massimo un indice di comportamento quantitativamente stabilito, il *controllo adattativo*, che si applica nel caso di conoscenza scarsa o nulla dei parametri del sistema da controllare. Sono poi considerati gli *aspetti tecnologici* con particolare riguardo per i dispositivi di trasduzione ed elaborazione di segnali, di regolazione ed attuazione realizzati sia elettronicamente che con altra tecnologia; sono presentate le caratteristiche hardware e software e gli impieghi del *calcolatore di processo*, oltre che nella regolazione delle variabili, anche nel controllo di sequenza, nella supervisione e nella gestione degli allarmi, funzioni che, nel loro insieme, realizzano l'*automazione* degli impianti. Altri argomenti sviluppati riguardano la *programmazione matematica* e la *ricerca operativa*, in cui si affrontano e risolvono problemi di organizzazione e gestione la cui conoscenza completa la formazione dell'esperto in automazione. Integrano l'indirizzo approfondimenti di informatica, riguardante in particolare l'*architettura dei calcolatori*, i *sistemi operativi* e i *linguaggi di programmazione*, che sono particolarmente importanti per il tecnico dei controlli.

Indirizzo Bioingegneria

L'indirizzo di Bioingegneria si propone di dare le basi metodologiche e le competenze tecniche generali per l'inserimento professionale dell'ingegnere elettronico nelle strutture ospedaliere. La vastità e la complessa articolazione della moderna ingegneria clinica sono tali da non consentire la concentrazione in pochi corsi dei concetti e delle nozioni necessari per una vera e propria specializzazione. L'indirizzo deve essere quindi inteso come un corpo di insegnamenti propedeutici a corsi di studi specifici e alle attività pratiche indispensabili per la formazione professionale dell'ingegnere clinico.

I corsi dell'indirizzo hanno carattere prettamente ingegneristico e sono ampiamente

collegati con i contenuti dei corsi fondamentali dell'ingegneria elettronica. Così, ad esempio, la struttura e il funzionamento dei sistemi fisiologici sono interpretati con l'ausilio di modelli fisico-matematici e lo studio del comportamento dinamico è fatto con la metodologia generale dell'ingegneria dei sistemi. Quest'ultima trova ampia applicazione nello studio delle strutture sanitarie e dei servizi ospedalieri, la cui gestione è possibile soltanto con una solida competenza informatica.

Strettamente collegata con i corsi di elettronica generale e applicata è la trattazione dei principali apparati di misura delle grandezze biologiche.

Oltre ai corsi caratterizzanti sono inseriti nell'indirizzo corsi meno specifici allo scopo di fornire allo studente una più ampia scelta e di consentire connessioni con indirizzi metodologicamente affini.

Indirizzo Informatica

L'indirizzo di Informatica ha lo scopo di fornire conoscenze di base sul progetto, sulle modalità di funzionamento e sulle tecniche di impiego dei calcolatori elettronici. In particolare vengono affrontate le problematiche della strutturazione dei programmi e della progettazione del software, le proprietà dei principali linguaggi di programmazione ed i relativi traduttori. Vengono trattati i problemi inerenti alla struttura, alla organizzazione ed al funzionamento dei calcolatori elettronici, le interfaccie e la comunicazione con le unità periferiche. Si introducono i concetti generali del software di base dei calcolatori, dei sistemi operativi ed il loro progetto. Vengono presentati gli aspetti organizzativi, tecnici ed economici derivanti dalla memorizzazione di banche di dati e del relativo software di gestione. Vengono sviluppati infine i principali algoritmi per la ottimizzazione combinatoria, per la simulazione e per la risoluzione di problemi di algebra lineare.

Indirizzo gestionale

L'indirizzo 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 ad obiettivi prefissati. Gli strumenti e le tecniche proprie dell'economia, dell'elaborazione delle informazioni, della gestione aziendale, dell'ottimizzazione e simulazione dei sistemi complessi, assumono in tale contesto una notevole rilevanza.

I corsi dell'indirizzo trattano gli aspetti sia metodologici che tecnologici indispensabili per la progettazione e la gestione dei sistemi organizzativi, con particolare attenzione ai problemi economici e di integrazione dei sistemi informativi aziendali.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA 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.

DATI STATISTICI

A) Anno acc. 88-89. 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	281	11	131	9	147	1	105	3	127	3	570	18	1361	45
03 Ingegneria elettrotecnica	69	1	36	—	40	1	34	1	32	—	108	5	319	8
04 Ingegneria chimica	90	27	69	18	58	10	42	10	25	4	79	10	363	79
05 Ingegneria mineraria	18	3	17	2	17	1	27	7	16	1	50	4	145	18
06 Ingegneria elettronica	717	70	380	48	460	46	362	38	391	38	1363	95	3673	335
07 Ingegneria nucleare	28	4	19	2	19	5	20	5	24	2	102	9	212	27
08 Ingegneria civile sezione edile	225	50	160	28	129	18	125	13	119	12	643	62	1401	183
09 Ingegneria civile sezione idraulica	20	1	13	3	25	5	16	1	7	—	70	8	151	18
10 Ingegneria civile sezione trasporti	33	3	22	4	14	3	30	2	13	1	84	4	196	17
TOTALI FACOLTÀ	1481	170	847	114	909	90	761	80	754	61	3069	215	7821	730

B) Anno acc. 87-88. 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	231	11	137	9	106	2	125	3	98	2	525	9	1222	36
03 Ingegneria elettrotecnica	47	—	41	1	30	1	27	—	19	1	109	4	273	7
04 Ingegneria chimica	78	22	45	9	42	10	25	3	16	3	62	6	268	53
05 Ingegneria mineraria	17	4	8	1	26	6	15	1	13	1	49	3	128	16
06 Ingegneria elettronica	557	56	429	33	362	37	392	38	383	37	1182	78	3305	279
07 Ingegneria nucleare	22	2	23	3	19	5	24	2	28	3	99	7	215	22
08 Ingegneria civile sezione edile	214	36	127	20	126	11	109	12	147	10	625	57	1348	146
09 Ingegneria civile sezione idraulica	18	3	12	2	19	1	9	—	20	1	71	11	1494	18
10 Ingegneria civile sezione trasporti	24	4	14	1	23	2	14	—	24	2	72	3	171	12
TOTALI FACOLTÀ	1208	138	836	79	753	75	740	59	748	60	2794	178	7079	589

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

Anno accademico Corsi di laurea		83/84	84/85	85/86	86/87	87/88
Ing.	Meccanica	113	96	73	90	87
	Elettrotecnica	41	38	31	30	14
	Chimica	38	21	16	30	17
	Mineraria	20	14	11	7	10
	Elettronica	165	176	211	171	230
	Nucleare	48	30	25	31	17
	Civile Edile	151	180	114	137	141
	Civile Idraulica	22	14	16	14	15
	Civile Trasporti	12	25	21	18	14
Totale Laureati Ingegneria		610	594	518	528	545

NORMATIVA DI SEGRETERIA

(Facoltà di Ingegneria, Via Zamboni 33 - 40126 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 1° agosto al 5 novembre

— 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'86 certificato sostitutivo a tutti gli effetti del diploma e dichiarazione rilasciata dall'Istituto attestante l'impossibilità di rilasciare il diploma originale; i diplomati nell'86 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. 700 (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 5/11 ma comunque improrogabilmente entro il 31 dicembre.

C — Iscrizioni ad anni di corso successivi al primo

— Termini
dal 1° agosto al 5 novembre iscrizioni in corso e condizionate
dal 1° agosto 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 *5 Novembre*) 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 l'8 settembre 1989.*

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 5 novembre*:

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 5 novembre.*

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, nel periodo 1° agosto-5 novembre (o comunque entro il termine fissato per l'iscrizione) dovrà essere presentata la predetta domanda che varrà per le tre sessioni d'esame dell'anno accademico 1988/89.

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 di L. 500;

— 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 tutte bollate con marca da L. 700;

b) ricevuta del versamento di L. 3.000 (soprattassa esame di laurea) e di L. 13.000 (pergamena) da effettuarsi presso l'Esattoria Universitaria o presso un qualsiasi ufficio postale;

c) ricevuta del versamento di L. 150.000 (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 idennità di pergamena (L. 13.000);

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 idennità di pergamena (L. 13.000) 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 (L. 3.000).

— 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 una copia della dissertazione di laurea firmata dal Relatore alla Commissione esaminatrice.

4. - Norme particolari relative alla carriera scolastica nella Facoltà di Ingegneria

Nel primo anno del corso saranno impartiti i seguenti insegnamenti comuni per tutti i tipi di laurea:

Analisi matematica I;
Geometria;
Fisica I;
Chimica;
Disegno.

Per essere iscritto al secondo corso lo studente dovrà aver superato due almeno fra i quattro seguenti esami:

Analisi matematica I;
Geometria;
Fisica I;
Chimica.

Nel secondo anno di corso saranno impartiti i seguenti insegnamenti comuni per tutti i tipi di laurea:

Analisi matematica II;
Meccanica razionale;
Fisica II,

oltre ad altri insegnamenti, diversi per i singoli tipi di laurea, che verranno inclusi, con l'annotazione secondo anno, negli elenchi delle materie relative ai corsi di laurea stessi.

Per essere iscritti al terzo anno di corso gli studenti di tutti i corsi di laurea, ad eccezione dei corsi di laurea in ingegneria elettrotecnica, chimica, elettronica e nucleare, devono aver superato tutti gli esami relativi agli insegnamenti del primo anno e gli esami di almeno tre dei seguenti insegnamenti del secondo anno:

Analisi matematica II;
Meccanica razionale;
Fisica II;
Disegno II.

Gli studenti del corso di laurea in ingegneria elettrotecnica, per essere iscritti al terzo anno, devono aver superato tutti gli esami relativi agli insegnamenti del primo anno e gli esami di almeno tre dei seguenti insegnamenti del secondo anno:

Analisi matematica II;
Meccanica razionale;
Fisica II;
Metodi di osservazione e misura oppure Chimica fisica dei materiali elettrici.

Gli studenti del corso di laurea in ingegneria chimica, per essere iscritti al terzo anno,

devono aver superato tutti gli esami relativi agli insegnamenti del primo anno e gli esami di almeno tre dei seguenti insegnamenti del secondo anno:

Analisi matematica II;
Meccanica razionale;
Fisica II;
Chimica applicata.

Gli studenti del corso di laurea in ingegneria elettronica, per essere iscritti al terzo anno, devono aver superato tutti gli esami relativi agli insegnamenti del primo anno e gli esami di almeno tre dei seguenti insegnamenti del secondo anno:

Analisi matematica II;
Meccanica razionale;
Fisica II;
Metodi di osservazione e misura.

Gli studenti del corso di laurea in ingegneria nucleare, per essere iscritti al terzo anno, devono aver superato tutti gli esami relativi agli insegnamenti del primo anno e gli esami di almeno tre dei seguenti insegnamenti del secondo anno:

Analisi matematica II;
Meccanica razionale;
Fisica II;
Fisica atomica.

Lo studente che sia stato iscritto al terzo anno e abbia superato soltanto tre degli esami relativi agli insegnamenti del secondo anno, elencati nei cinque precedenti commi, ha l'obbligo di superare il quarto esame prima di sostenere qualsiasi esame del triennio di applicazione.

Gli insegnamenti tenuti per i singoli corsi di laurea oltre a quelli già elencati come comuni a tutti i corsi stessi durante il primo e 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.

Coloro i quali abbiano seguito il corso di studi, cui sono iscritti, per l'intera sua durata, senza aver preso l'iscrizione a tutti gli insegnamenti prescritti per l'ammissione all'esame di laurea o diploma o senza averne ottenuto le relative attestazioni di frequenza, debbono iscriversi come ripetenti per gli insegnamenti mancanti di iscrizione o di frequenza.

Per essere ammesso all'esame di laurea lo studente dovrà aver seguito i corsi e superato gli esami in tutti gli insegnamenti del quinquennio obbligatori sia sul piano nazionale (a) sia sul piano di Facoltà (b) prescritti per il corso di laurea cui è iscritto nonché gli insegnamenti del gruppo (c) da lui prescelto nell'ambito di quelli stabiliti per lo stesso corso di laurea. Si precisa che il numero complessivo degli insegnamenti è di 29 annualità per ciascun Corso di Laurea.

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 o della ricerca vengono fissate dal Consiglio di Facoltà.

Per gli studenti che provengono, con foglio di congedo, da altra Facoltà o Università, l'iscrizione e l'ulteriore svolgimento della carriera scolastica saranno determinate, di volta in volta, dal Consiglio di Corso di Laurea competente.

Eventuali equivalenze o sostituzioni tra insegnamenti di cui è stato superato l'esame ed insegnamenti della futura carriera scolastica potranno essere riconosciute, su richiesta

dell'interessato, solo all'atto del trasferimento o del cambiamento di corso. La stessa norma vale anche per coloro che si iscrivono essendo in possesso di altre lauree.

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 1° agosto 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 Bolo-

gna, 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 Elementi di calcolo numerico e programmazione Programmazione dei calcolatori elettronici		Calcolo numerico e programmazione
Chimica applicata		Chimica applicata
	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 (1)	3781	Disegno II (Minerari)
Geometria I		Geometria
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
Teoria e pratica delle misure	2004	Metodi di osservazione e misura

(1) Per i Corsi di Laurea in Ingegneria Civile ed Ingegneria Meccanica l'attestazione di frequenza ed esame di Disegno II vengono convalidati se l'insegnamento seguito è specifico del Corso di Laurea che lo studente intende seguire.

Gli insegnamenti di Analisi matematica I e II, Fisica I e II, Chimica, Disegno, 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.

E — *Normativa per l'iscrizione di laureati in Architettura*

Le domande di ammissione alla Facoltà di Ingegneria per il Corso di Laurea in Ingegneria Civile (Sezione Edile) da parte di Laureati in Architettura vengono accolte con iscrizione al secondo anno di corso e con l'obbligo di frequenza ed esame delle seguenti materie: (1353) Analisi matematica II, (1370) Fisica II, (1378) Meccanica razionale, (430) Fisica tecnica, (275) Elettrotecnica, (890) Scienza delle costruzioni, (1061) Topografia, (1026) Tecnica delle costruzioni, (688) Meccanica applicata alle macchine e macchine, (490) Idraulica, (204) Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti. Verrà fatto inoltre carico degli altri esami del Corso di Laurea in Ingegneria Civile (sez. Edile) dei quali il curriculum del richiedente fosse carente.

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. Non è accettata la sostituzione di insegnamenti del biennio propedeutico che siano sbarranti (*a parte le scelte proposte nel manifesto degli studi*).

3. Un solo insegnamento semestrale non può sostituire un insegnamento annuale.

4. 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.

5. E' possibile accettare l'anticipazione degli insegnamenti complementari, purché motivata.

6. 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.

7. 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.

8. Non è accettata la sostituzione di alcun corso con un insegnamento di lingue.

9. 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 sul piano nazionale (di tipo a) ed obbligatori sul piano della Facoltà (di tipo b).

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 sul piano nazionale o di Facoltà (tipo a e b).

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

II anno E' consigliata la sostituzione del corso di Calcolo numerico e programmazione con quello di Programmazione dei calcolatori elettronici, specifico per elettrotecnici.

Il corso di Metodi di osservazione e misura può essere sostituito da quello di Chimica-fisica dei materiali elettrici.

IV anno Chi è interessato al corso di Idraulica è consigliato di sceglierlo all'ultimo anno in sostituzione di quello di Impianti idroelettrici e di rivalutazione dell'energia, ovvero di qualunque altro corso di indirizzo non caratterizzante.

V anno Gli insegnamenti di indirizzo non caratterizzanti possono essere sostituiti con insegnamenti di altri indirizzi.

L'accettazione di altre eventuali sostituzioni è subordinata all'esame delle stesse da parte della apposita commissione del consiglio di corso di laurea che dovrà accertare la validità del piano di studi nel suo complesso, seguendo il criterio di massima di ritenere accettabili le sostituzioni che portino ad introdurre nel piano di studi un gruppo omogeneo di materie che lo caratterizzino.

d) Corso di Laurea in Ingegneria Chimica

1 — Non è consentita la sostituzione di insegnamenti obbligatori sul piano nazio- nale.

2 — Nei piani di studio individuali debbono comunque essere prescelti tre insegnamenti di uno stesso indirizzo.

e) Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria

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:

— Disegno II (solo con Calcolo Numerico e Programmazione);
— 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 in Ingegneria Elettronica

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.

3) I piani di studi consigliati sono pubblicati nell'Ordine degli Studi che è riprodotto anche in questa Guida; essendo tali piani già approvati, la scelta di uno di essi evita allo studente di dover attendere la risposta del CCdL: nel caso di specifiche domande di piani di studio individuali diversi da quelli pubblicati, tale attesa è necessariamente non breve e talora la risposta non è nota prima della fine del primo ciclo di lezioni.

A maggior chiarimento di quanto è riportato nell'Ordine degli Studi, si fa presente che con l'a.a. 1988/89 il CCdL ha avviato una modifica dell'Ordine degli Studi stesso che non potrà essere completata prima di due o tre anni accademici; in conseguenza di ciò, lo studente non può dedurre esattamente dall'Ordine degli Studi 1989/90, **che rappresenta una situazione transitoria**, gli insegnamenti previsti nel suo curriculum per gli anni successivi, né deve del resto meravigliarsi se l'Ordine degli Studi 1989/90 non corrisponde alla carriera scolastica già percorsa negli anni precedenti. Quest'ultima rimane comunque valida, **quella dell'a.a. 1989/90 appare nell'Ordine degli Studi in corrispondenza dell'anno di corso cui lo studente è iscritto**.

Si noti che i piani di studio previsti dallo Statuto della Facoltà contengono 1365 Disegno in luogo di 6297 Elementi di informatica e 6464 Calcolo numerico e programmazione in luogo di 9240 Programmazione dei calcolatori elettronici; inoltre l'insegnamento di Elettrotecnica I appare al III anno, come pure gli insegnamenti obbligatori di Fisica tecnica e di Scienza delle costruzioni: al terzo anno figurano quindi otto insegnamenti.

Un'ultima differenza fra il piano statutario e quelli consigliati è stata introdotta quest'anno con delibera del CCdL indata 17/4/1989: seguendo un piano di studio scelto fra quelli consigliati è possibile, su domanda, ottenere l'iscrizione al terzo anno senza i vincoli previsti dallo Statuto sugli esami del secondo anno.

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 autocertifi-

cazione 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	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	7	6
Chimica	5	5	6	7	6
Mineraria	5	6	5	7 (c)	6 (a)
Elettronica	5	5	6	6	7
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) *Diventano 8 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

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

Programmi delle materie di insegnamento del **biennio propedeutico** comuni a tutte le sezioni.

1349
ANALISI MATEMATICA I (per Civili, Chimici e Minerari)
Docente: **Giovanni Mancini** prof. ord.

Programma

1. *Insiemi, relazioni, funzioni*: teoria cantoriana degli insiemi, relazioni (di ordine, di equivalenza), funzioni.

Insiemi equipotenti, calcolo delle proposizioni, sistemi formali.

Insiemi naturalmente ordinati, principio di induzione e numeri naturali, definizione ricorsiva.

2. *Strutture algebriche*: gruppi, anelli, campi.

Anello ordinato degli interi, campo ordinato dei razionali.

3. *Numeri reali*: campi ordinati completi, rappresentazione dei numeri reali, rappresentazione dei numeri reali negli elaboratori elettronici.

Funzioni potenza e radice, funzione esponenziale e logaritmo.

Piano euclideo.

Algoritmi e loro descrizione.

4. *Numeri complessi*: campo dei numeri complessi, rotazioni in campo complesso, funzioni circolari, radici.

5. *Polinomi*: funzioni razionali intere, divisibilità di polinomi, equazioni algebriche, interpolazione, polinomi in forma di Taylor, equazioni razionali fratte.

6. *Limiti e continuità*: elementi di topologia, limiti di successioni a valori in R, compattezza, completezza, limiti di funzioni, limiti di funzioni a valori in R, infinitesimi ed infiniti, continuità, connessione.

7. *Derivate*: nozione di derivata e sua interpretazione, funzioni derivabili su intervalli, funzioni convesse, proprietà locali delle funzioni derivabili, formula di Taylor.

8. *Integrali*: spazi di funzioni, operatori lineari, operatori lineari continui, integrale delle funzioni semplici, integrale di Riemann, misura e integrazione, integrali impropri.

9. *Serie*: serie in campo reale e in campo complesso, prodotto tra serie, serie di Taylor,

serie di funzioni, serie di potenze.

10. *Approssimazioni*: approssimazione degli zeri di una funzione, applicazioni del metodo delle approssimazioni successive, integrazione numerica, approssimazione delle funzioni continue.

Testi consigliati:

G.C. Barozzi, S. Matarasso, *Analisi Matematica 1*, Zanichelli.
T. Apostol, *Calcolo 1*, Boringhieri.

1353
ANALISI MATEMATICA II (per Civili, Chimici e Minerari)
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.

1357
CHIMICA
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.

3656
DISEGNO II (Civili)
Docente: **Alberto Pratelli** prof. ass.

Programma

Il Disegno come dimensione progettuale e come problema di progetto. In particolare il Disegno come tecnica di rappresentazione e comunicazione degli spazi abitati. Il Disegno come momento di suddivisione-ricomposizione del rapporto tra la fase teorica e la fase applicativa del progetto. Il Disegno come primo approccio alla conoscenza dei sistemi costruttivi a livello di compito edilizio. Il Disegno come insieme di strumenti, tecniche e processi di rappresentazione finalizzati ad oggettivare e pertanto a comunicare un oggetto spaziale all'interno dei compiti progettuali. Rapporto tra il disegno ed il processo di approccio alla forma dell'oggetto: il Disegno come processo di progetto. Campi di applicazione dei disegni in relazione agli sbocchi disciplinari dell'ingegneria civile. In particolare, rapporto tra le tecniche di comunicazione e rappresentazione visuali del progetto con le esigenze poste dai processi di organizzazione dello spazio in relazione alle fasi del processo (ideativa, di massima ed esecutiva), ai suoi possibili contenuti, forme e strutture ed alle diverse scale operative (dal territorio, all'ambiente e all'edificio sino al particolare). Prima analisi dei sistemi costruttivi ricorrenti nel settore edilizio, articolati per sistemi geometrici di modulazione, sistemi di componenti costruttivi e tecniche di assemblaggio. La modellistica e le tecniche avanzate di rappresentazione.

Testi consigliati:

L. BENEVOLO, *Storia dell'Architettura Moderna*, Ed. Laterza.
L. BENEVOLO, *Il Disegno*, Ed. Laterza.
Riviste di Architettura ed Ingegneria.
Manuale del NEUFERT.

Le indicazioni bibliografiche sono da considerarsi come riferimenti generali in relazione ai temi svolti; esse saranno integrate con indicazioni specifiche.

Esercitazioni ed esami

Il corso prevede esercitazioni pratiche obbligatorie su di un tema edilizio reale in modo da poter agganciare i contenuti delle comunicazioni ad esperienze progettuali realizzate. Le esercitazioni, da condursi per gruppi di lavoro (5-7 st.), devono poi aprirsi a sperimentazioni personali per verificare l'esperienza acquisita.

L'esame consiste in una prova scritta (grafica) ed in una orale. La prova scritta può essere svolta previa accettazione dei lavori di esercitazione.

Propedeuticità consigliate: Essenzialmente Disegno e Geometria.

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

1366
FISICA I (per Civili, Chimici e Minerari)
Docente: **Ettore Verondini** prof. ord.

Finalità del corso:

Scopo del corso è essenzialmente quello di omogeneizzare l'impostazione culturale scientifica degli studenti attraverso un'analisi concettuale e metodologica dei fondamenti della meccanica e della termodinamica classiche. Il corso è completato da una serie di esercitazioni che illustrano significative applicazioni dei principi introdotti.

Programma:

A. *Elementi di Calcolo vettoriale.* Concetto di vettore. Operazioni con vettori. Rappresentazione cartesiana. Vettori applicati. Momento di un vettore. Derivata. Campo vettoriale. Gradiente. Integrali di vettori.

B. *Cinematica.* Concetto di spazio, di tempo, di misura. Sistemi di riferimento. Cinematica del punto materiale. Coordinate cartesiane, cilindriche, polari. Equazioni parametriche del moto. Velocità di spostamento, accelerazione. Classificazione dei moti. Studio di alcuni moti semplici rettilinei. Cenni di cinematica dei sistemi rigidi. Moto traslatorio, rotatorio, rototraslatorio. Velocità e accelerazione dei punti di un corpo rigido. Moto relativo.

C. *Dinamica del punto materiale.* Principio di inerzia. Il secondo principio della dinamica. Moto dei proiettili. Teorema dell'impulso e della quantità di moto. Moto di un punto materiale vincolato su una linea. Pendolo semplice. Dinamica dei sistemi discreti di punti (cenni). Il Terzo principio della dinamica. Quantità di moto e momento angolare. Conservazione della quantità di moto e del momento angolare. Equazioni cardinali. Centro di massa e sue proprietà. Dinamica dei sistemi discreti rigidi (cenni). Esempi di calcolo di centri di massa. Punto di applicazione della forza peso. Momenti di inerzia. Teorema di Huygens-Steiner. Moto di un corpo rigido con un asse fisso. Pendolo fisico. Forze inerziali. Il secondo principio della dinamica dei riferimenti non inerziali. Forze di trascinamento, centrifughe di Coriolis.

D. *Lavoro di energia.* Punto materiale. Concetto di lavoro. Potenza. Energia cinetica. Campi conservativi. Energia potenziale. Conservazione dell'energia meccanica. Sistemi di punti. Espressione generale del lavoro. Energia cinetica. Teorema di Koenig. Il principio di conservazione dell'energia.

E. *Cenni sull'interazione gravitazionale.* Il moto dei pianeti e la legge della gravitazione universale. Potenziale gravitazionale.

F. *Temperatura.* Equilibrio termico. Concetto di temperatura. Misura della temperatura. Termomentro a gas. Temperatura del termometro a gas perfetto. Temperatura Celsius.

G. *Sistemi termodinamici semplici.* Equilibrio termodinamico. Diagrammi pressione-volume e pressione-temperatura per sostanze pure. Equazione di stato. Esempi.

H. *Lavoro termodinamico.* Concetto dilavoro. Lavoro in un diagramma P-V. Dipendenza del lavoro dalla trasformazione. Esempi di calcolo dilavoro in alcune trasformazioni quasi-statiche.

I. *Il I principio della termodinamica*. Lavoro e Calore. Lavoro adiabatico. Espressione matematica del I principio. Concetto di calore. Il I principio in forma differenziale. Capacità termica. La caloria. Serbatoio di calore. Cenni alla conduzione del calore.

L. *Gas ideali*. Equazione di stato di un gas. Sviluppo del virale. Energia interna e sua dipendenza dalle coordinate termodinamiche. Concetto di gas ideale. Calori molari di un gas ideale. Misura delle capacità termiche dei gas. Trasformazioni adiabatiche quasi statiche di un gas ideale.

M. *Il II principio della Termodinamica*. Conversione di lavoro in calore e vice-versa. Esempi di macchine termiche. Enunciato di Kelvin. Macchine frigorifere. Enunciato di Clausius.

N. *Reversibilità e irreversibilità*. Concetto di trasformazione reversibile. Connessione fra il II principio e l'esistenza di trasformazioni irreversibili. Condizioni per la reversibilità.

O. *Il Ciclo di Carnot e la scala di temperatura Kelvin*. Definizione di ciclo di Carnot. Esempi. Teorema di Carnot e Corollari. Scala di temperatura Kelvin. Eguaglianza fra la temperatura Kelvin e la temperatura del termometro a gas ideale.

P. *Entropia*. Teorema di Clausius. Concetto di entropia. Entropia di un gas ideale. Diagrammi T-S. Principio dell'aumento dell'entropia. Esempi di calcolo di variazioni di entropia. Entropia ed energia inutilizzabile.

Testi consigliati:

P. VERONESI, E. FUSCHINI, *Fondamenti di meccanica classica* (Coop. Libraria Univ.).
M. ALONSO, E.J. FINN, *Elementi di Fisica per l'Università*, Vol. I, Meccanica (Addison-Wesley).
M.W. ZEMANSKY, M.M. ABBOTT, H.C. VAN NESS, *Fondamenti di termodinamica per ingegneri* (Zanichelli).
R.D. BLUM, D.E. ROLLER, *Fisica I* (Zanichelli).

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 e Geometria.

1370
FISICA II (per Civili, Chimici e Minerari)
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.

1374
GEOMETRIA (per Civili, Chimici e Minerari)
Docente: **Luigi Pezzoli** prof. ass.

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 equa-

zioni 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.

661
LITOLOGIA E GEOLOGIA
Docente: **Giulio Cesare Carloni** prof. straord.

Finalità del corso: introdurre gli studenti del corso di laurea di Ingegneria Civile (sez. edile, idraulica, trasporti) 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 sintetico del corso

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

Parte prima: *Litologia*. Minerali e rocce — Generalità sui processi genetici delle rocce — Composizione dell'interno terrestre con particolare riguardo alla Litosfera — Informa-

zioni dei terremoti e dalle prospezioni geofisiche — Plutonismo e vulcanesimo — Rischio vulcanico — Usi ed applicazioni dei materiali litoidi — Elementi di Geotecnica: prove di laboratorio e prove di campagna — Indagini del sottosuolo.

Parte seconda: *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 — Geologia ambientale e carte geologico-tecniche.

Cicli di *esercitazioni* per la pratica sul riconoscimento delle rocce con escursioni 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 proseguono contemporaneamente al ritmo di 1 ora alla settimana fino alla fine dell'anno accademico.

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.
5) AUTORI VARI, *Problemi di Geofisica*, Letture da «Le Scienze», ed. Mondadori.
6) AUBOUIN J., BROUSSER R., *Compendio di Geologia: 1 Litologia*, Casa ed. Ambrosiana.

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.

Indirizzo delle tesi di laurea

Le tesi finora seguite hanno avuto un carattere sperimentale, mentre tutte le altre tesi di cui il titolare è stato correlatore hanno avuto carattere compilativo o di ricerca bibliografica.

1378
MECCANICA RAZIONALE (per Civili, Chimici e Minerari)
Docente: **Tommaso Antonio Ruggeri** prof. ord.

Programma

Calcolo vettoriale e elementi di algebra lineare.
Cinematica del punto e dei sistemi rigidi.
Cinematica relativa — Vincoli e loro classificazione.
Geometria delle masse — Cinematica delle masse — Lavoro — Principi della Meccanica — Statica del punto, dei sistemi rigidi — Principio dei lavori virtuali e statica dei sistemi olonomi — Stabilità — Meccanica delle travi e dei fili — Dinamica del punto — Dinamica dei corpi rigidi — Elementi di meccanica analitica — Piccole oscillazioni nell'intorno di posizioni di equilibrio stabile — Elementi di Meccanica dei continui.

Testi consigliati:

G. GRIOLI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Cortina, Padova.
G. FERRARESE, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Veschi, Roma.
D. GRAFFI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Pàtron, Bologna.
C. AGOSTINELLI, G. PIGNEDOLI, *Meccanica razionale*, Zanichelli, Bologna.

1043
TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA
Docente: **Leopoldo Cini** prof. ass.

Lo scopo del corso è di fornire allo studente una conoscenza generale dei materiali utilizzati nell'edilizia.

Programma

a) Materiali metallici (Acciai semplici e legati. Trattamenti termici); b) Materiali inorganici non metallici (m. ceramici, cementi, conglomerati cementizi); c) Materiali plastici; d) Corrosione, acque ed atmosfere inquinanti ed aggressive.

Testi consigliati:

Dispense, Ed. CLUEB Bologna.
TAVASCI, *Tecnologia dei Materiali e Chimica Applicata*, Ed. Tamburini, Milano.

COLLEPARDI, *Scienza e Tecnologia del calcestruzzo*, Ed. Hoepli, Milano.
L'ora settimanale di esercitazioni è utilizzata come ora supplementare di lezione.

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.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

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:

Dispense di *Architettura Tecnica* (a cura del prof. I. TAGLIAVENTI).
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.

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: **Paolo Russo** prof. ass.

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, E. Zanichelli.
B. BOTTAU, *Costruzione di ponti*, Appunti tratti dalle lezioni, Pitagora, Bologna.
NORME, D.M. 16/6/76 «Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in C.A. normale e precompresso per le strutture metalliche», Ministero LL.PP. Circolare 384 del 14/2/1942.

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: **Marco Guastella** prof. ass. (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.

275

ELETTROTECNICA (Civili e Minerari)

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

447
FONDAMENTI DI ECONOMIA ED ESTIMO
Docente: **Francesco Spina** prof. ass. (inc.)

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.

1656
FOTOGRAMMETRIA
Docente: **Attilio Selvini** 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.

2007

GEOTECNICA (semestrale) (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. Schemi di materiale «continuo». Equazioni cardinali del moto ed equazioni di continuità.

Idrostatica: misure di pressione nei fluidi, azione dei liquidi sopra superficie in quiete,

corpi galleggianti.

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

Equazione di Euler, teorema di Bernoulli, teorema della quantità di moto. Azione dei fluidi in moto sopra superficie solide. Foronomia. Perdite di carico effettivo nelle condotte per brusche variazioni di sezione. Trasformazioni di energia nei corsi a pelo libero; correnti lente e veloci. Risalto idraulico. Dissipazioni localizzate. Luci a stramazzo e stramazzi laterali.

Equazioni di Navier. Esperienza di Reynolds: moto laminare e moto turbolento. Moto uniforme nelle condotte. Moto permanente, sifoni. Reti di condotte. Moti di filtrazione. Moto uniforme e moto permanente nei corsi a pelo libero.

Moto vario nelle condotte in pressione. Propagazione ondose nei canali. Onde di mare.

Modelli idraulici e modelli analogici. Cenni di idraulica fluviale.

Misure di portata, velocità, altezze d'acqua.

688

MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE E MACCHINE

Docente: **Giorgio Negri di Montenegro** prof. ord. (inc.)

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: **Piero Pozzati** 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 abitativo 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'in-

tero 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 pianifica-

zione 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 connessi con la costruzione e l'uso dei modelli matematici che si possono associare a sistemi e a fenomeni reali. 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 diversi. Viene illustrato l'impiego di modelli matematici per la soluzione di problemi di previsione e di controllo. 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

Elementi di Informatica — Schema a blocchi di un elaboratore elettronico. Codifica binaria delle informazioni. Unità fondamentali di un elaboratore elettronico. Linguaggi formali. Software di base e software applicativo. Diagrammi di flusso. Elementi di programmazione (cenni). Uso interattivo di un sistema di elaborazione con particolare riferimento al sistema operativo VAX/VMS.

Calcolo delle probabilità e statistica — Definizioni e caratteristiche generali. Probabilità a priori e probabilità in termini di frequenza. La teoria assiomatica della probabilità come studio di modelli matematici di fenomeni aleatori. Leggi di probabilità. Presentazione di dati grezzi: distribuzioni di frequenza ed istogrammi. Teoria elementare dei campioni. Teoria della stima. Verifica delle ipotesi.

Sistemi e modelli — Definizioni e caratteristiche generali dei modelli matematici. Classificazione dei modelli matematici: statici, dinamici, a parametri concentrati, a parametri distribuiti, lineari, non lineari, varianti nel tempo, invarianti nel tempo, a tempo continuo, a tempo discreto, deterministici, stocastici. Modelli econometrici input-output. Modelli gravitazionali. Modelli di regressione lineare semplice e multipla. Modelli dinamici lineari invarianti nel tempo.

Controllo automatico di sistemi — Concetti generali e definizioni. Controllo in catena aperta. Controllo in retroazione. Controllo per compensazione diretta dei disturbi. Esempi di controllo automatico di livello, di posizione, di velocità.

Modelli per la soluzione di problemi di pianificazione e di programmazione della produzione — Elementi della teoria dei grafi (nel senso di Koenig). Cammini minimi su grafi e su reticoli. Tecniche reticolari di programmazione e controllo.

Testi consigliati

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

Svolgimento degli esami, esercitazioni

L'esame consiste nella sola prova orale. Le esercitazioni consistono nello sviluppo di alcuni programmi in FORTRAN mediante l'uso interattivo di un elaboratore elettronico.

1061
TOPOGRAFIA
Docenti: **Marco Unguendoli** prof. ord. (Civili A-K)
Alberto Gubellini 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.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (SEZ. EDILE) 2008

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: **Leonardo Lugli** prof. ord.

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.

6461-6464
CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE (Civili ed Elettronici)
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.

85
CARATTERI DISTRIBUTIVI DEGLI EDIFICI
Docente: **Giorgio Trebbi** prof. ass.

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. Correlazione 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: **Alberto Bucchi** prof. ord.

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: **Ferdinando Laudiero** prof. ass.

Il corso intende ampliare le ipotesi e la metodologia di calcolo assunte nel corso di Scienza delle Costruzioni, allo scopo di valutare il grado di sicurezza di strutture costituite da sistemi piani di travi. Viene analizzato il comportamento statico non lineare di tali tipi strutturali sotto il duplice riguardo della non linearità meccanica (superamento della soglia elastica da parte del materiale) e della non linearità geometrica (stabilità dell'equilibrio).

Programma

1) Stabilità dell'equilibrio elastico dei sistemi piani di travi.

Sistemi meccanici conservativi. Principio di stazionarietà dell'energia potenziale totale. Teoria del II ordine e condizioni per la stabilità dell'equilibrio dei sistemi discreti e dei sistemi a deformabilità diffusa. Metodo energetico e discretizzazione dei sistemi continui via metodo di Rayleigh e metodo di Ritz. Formula di Newmark. Influenza della deformabilità tagliante sul carico critico. Matrice di rigidezza geometrica. Il calcolo del carico critico come problema agli autovalori. Comportamento asintotico e comportamento biforcativo. Fattori di amplificazione. Il metodo degli elementi finiti per sistemi piani di travi. Metodo P-Δ. Instabilità flesso-torsionale di una trave prismatica di parete sottile semplicemente inflessa ovvero sottoposta ad un carico assiale centrato. Instabilità flesso-torsionale di una trave in cemento armato precompresso a cavi rettilinei. Instabilità di seconda specie.

2) Calcolo dei sistemi piani di travi in campo elasto-plastico.

Il comportamento elasto-plastico delle aste metalliche inflesse. Idealizzazioni del legame tensioni-deformazioni. Flessione elasto-plastica. Il modello di cerniera plastica. Curve di interazione M-N. Calcolo passo-passo e redistribuzione degli sforzi. I teoremi fonda-

mentali del calcolo a rottura. Tecniche di delimitazione del moltiplicatore di collasso. Il calcolo a rottura mediante la programmazione lineare. La combinazione dei meccanismi.

3) Calcolo di sezioni in c.a. e in c.a.p. allo stato limite ultimo per tensioni normali. Determinazione del momento di rottura.

Duttilità della sezione in c.a. in semplice e doppia armatura. Curve di interazione M-N.

4) Comportamento elasto-plastico dei sistemi piani di travi in presenza di effetti del II ordine.

Il calcolo elasto-plastico di una struttura intelaiata metallica in presenza di effetti del II ordine (cenni). Metodi di calcolo incrementale-iterativi per l'analisi non lineare delle strutture intelaiate. La formula di Rankine-Merchant.

Testi consigliati:

L. CORRADI, *Instabilità delle strutture*, CLUP, Milano, 1978.
C. MASSONNET, M. SAVE, *Calcolo plastico a rottura delle costruzioni*, CLUP, Milano, 1980.
M. PIGNATARO ET AL., *Stabilità, biforcazione e comportamento postcritico delle strutture elastiche*, E.S.A. Editrice, Roma, 1983.
C. CECCOLI, P. POZZATI, *Teoria e tecnica delle strutture*, vol. III, parte 1ª, UTET, 1987.

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: **Claudio Comani** prof. ass. (inc.)

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

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: **Leonardo Lugli** prof. ord. (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
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: **Francesco Spina** prof. ass.

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 monito-

raggio 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).

4125
CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI
Docente: **Alberto Bucchi** prof. ord. (inc.)

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; componenti logici con parti mobili; componenti fluidici. Circuiti temporizzatori. Metodi di sintesi per i circuiti logici. Criteri di progetto per un automatismo.

206
COSTRUZIONI IDRAULICHE
Docente: **Bruno Poggi** prof. ord.

Programma

Le opere di invaso e derivazione per usi multipli: approvvigionamento idropotabile industriale, irriguo.

Richiami di idrologia superficiale con particolare riguardo alle derivazioni d'acqua con e senza regolazione dei deflussi.

Problemi ambientali connessi alla costruzione di laghi artificiali.

Gli sbarramenti: dighe e traverse. Calcolo statico degli sbarramenti murari a gravità e ad arco. Criteri di progetto e norme costruttive. Dighe in materiali sciolti: in terra e in roccia. Calcoli di stabilità, criteri di progetto e norme costruttive. Manufatti idraulici di funzionamento dei laghi artificiali. Traverse fisse e mobili: calcolo statico ed idraulico. Paratoie ed organi di funzionamento delle traverse.

Manufatti di derivazione da laghi artificiali e corsi d'acqua. Sghiaiatori e dissabbiatori.

Le opere di trasporto dell'acqua.

Grandi condotte a gravità e prementi: per acquedotti e irrigazioni. Problemi idraulici connessi con particolare riguardo ai fenomeni di colpo d'ariete ed alla scelta e progetto degli organi attenuatori (valvole antiariete, casse d'aria, torri piezometriche ecc. ecc.).

Opere di dissipazione di energia ed organi di regolazione per le condotte a gravità.

Centrali di sollevamento e scelta delle pompe per le condotte prementi.

Criteri di posa dei diversi tipi di condotte.

Acquedotti: qualità delle acque e dotazioni.

Opere di presa da pozzi e sorgenti. Potabilizzazione delle acque. Serbatoi e reti di distribuzione. Manufatti speciali.

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

Costruzioni marittime e navigazione interna.

Il mare, i venti e l'azione delle onde. Porti marittimi. Opere di difesa: moli, dighe e antemurali. Manufatti per il funzionamento dei porti. Bacini di carenaggio. Vie d'acqua interne. Natanti. Conche di navigazione, porti fluviali.

Testi consigliati

F. CONTESSINI, *Dighe e traverse*, Tamburini, Milano.
G. EVANGELISTI, *Costruzioni idroelettriche*, vol. I (Dighe e traverse), Patron.
H. PRESS, *Talsperren*, Ed. Verlag, Berlino.
DEGREMONT, *Memento Technique de l'eau*, Ed. Degrémont Suresnes.
BABBITT e DOLAND, *Water Supply Engineering*, McGraw-Hill, New York.
G. DI ROCCO, *Le irrigazioni 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: **Paolo Lamberti** prof. ass.

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 soues*, 1968.

MINISTERO AGRICOLTURA E FORESTE, *Opere per la correzione dei torrenti*, Collana verde 29 1972.

SCHNAB 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: **Pietro Guerrini** prof. ord.

Programma

1) Bonifiche idrauliche; descrizione e caratteristiche fondamentali dei metodi principali di bonificazione; definizione dei parametri idraulico-colturali. Calcolo delle reti di scolo: elaborazione dei dati pluviometrici; linee segnalatrici di possibilità pluviometrica, loro costruzione, significato e utilizzazione; formazione delle portate e coefficienti di deflusso. Metodi per il calcolo delle portate massime: metodo cinematico e formule per il tempo di corrivazione; metodo del volume di invaso. Manufatti correnti e speciali: tipi di canali, rivestimenti, problemi costruttivi; salti di fondo; botti sifone: calcolo idraulico e analisi dei carichi statici. Impianti idrovori: dimensionamento idraulico del macchinario; problemi costruttivi e di gestione.

2) Fognature urbane; scopi e sistemi di canalizzazione. Progetto delle reti: metodi per il calcolo delle portate nere e delle massime portate pluviali; organizzazione delle reti; tipi di condotti per fognature nere e miste: elementi per il dimensionamento idraulico e statico. Manufatti correnti nelle reti: pozzetti e confluenze; opere speciali: salti di fondo, sfioratori, pozzetti di lavaggio e loro dimensionamento idraulico; impianti di sollevamento per acque di fogna e relativi problemi di installazione e di esercizio. I trattamenti depurativi; caratteristiche dei liquami domestici e industriali; necessità della depurazione in relazione al recapito in corsi d'acqua naturali; standards di accettabilità per le acque di scarico; legislazione vigente; tipi e caratteristiche specifiche dei diversi procedimenti epurativi e loro campi di applicazione; elementi costitutivi degli impianti; il problema degli scarichi a mare.

3) Impianti idroelettrici: definizioni e classificazioni; elementi costitutivi. Le opere di presa e di adduzione delle acque; canali e gallerie di derivazione: tracciato, problemi di dimensionamento, di costruzione ed economia; tipi costruttivi; manufatti speciali: sifoni, ponti-canale, ponti-tubo. Pozzi piezometrici: scopo, tipi funzionali; calcolo delle oscillazioni di massa. Condotte forzate: tipi principali, dimensionamento; calcolo idraulico in moto permanente e vario; calcolo statico; manufatti e pezzi speciali; blocchi d'ancoraggio, valvole, diramazioni, passi d'uomo. Centrali idroelettriche: tipi e classificazioni; caratteristiche funzionali delle macchine idrauliche; scelta del tipo e del numero di unità e loro installazione; regolatori di velocità; scarichi sincroni e tegoli deviatori. Regolazione degli impianti: il problema della stabilità della regolazione; risultati di base e cenni sui problemi dell'interconnessione delle reti. Elementi costitutivi degli impianti di rivalutazione dell'energia.

Esercitazioni pratiche sulle principali parti del Corso; visite didattiche a impianti in costruzione e in esercizio.

Testi consigliati

Appunti manoscritti (class notes)
SUPINO, *Reti idrauliche.*

ONGARO, *Reti di Bonifica.*
IPPOLITO, *Appunti di Costruzioni idrauliche.*
EVANGELISTI, *Impianti Idroelettrici.*

Tesi di Laurea
— Reti di bonifica
— Reti di fognatura
— Impianti idroelettrici e di rivalutazione dell'energia.
— Manufatti e impianti speciali (Idrovore, botti-sifone, impianti di sollevamento, scaricatori di piena per fognature, impianti di trattamento delle acque di fogna, impianti reversibili).
— Problemi ambientali connessi con le voci di cui sopra.

Materie indispensabili per lo svolgimento delle tesi
— Gruppo idraulico
— Tecnica delle Costruzioni
— Geotecnica e Tecnica delle fondazioni.

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. ass.

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.

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 (pre-

scrizioni 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. Regolazione del traffico stradale mediante impianti semaforici. Studio e dimensionamento di massima di un sistema semaforico stradale. Cenni sulla circolazione ferroviaria. Processo di ottimizzazione gestionale delle linee di una rete con i metodi della programmazione lineare.

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 internodali 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: è richiesta al candidato la presentazione e la discussione della esercitazione scritta svolta in aula durante lo svolgimento del corso.

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 il progetto di organizzazione di un servizio di trasporto.

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. Pàtron, 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.
M. MATASSA, *Le caratteristiche funzionali degli autoveicoli da trasporto*, Pàtron, 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.

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.

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 2002

Programmi delle materie di insegnamento.

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

Il corso ha lo scopo di fornire le nozioni necessarie per comprendere la complessa fenomenologia inerente al moto di un fluido attorno ad 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.

Il programma tratta, in via preliminare, le nozioni matematiche particolari e le nozioni generali di cinematica e dinamica dei fluidi necessarie per le applicazioni che vengono svolte nel resto del corso.

Si trattano poi problemi dinamici riguardanti moti relativi di corpi solidi e fluidi circostanti, dapprima negli aspetti che consentono di ottenere risultati interessanti anche considerando il fluido come perfetto e incomprimibile; poi passando a considerare la fenomenologia che porta alla resistenza al moto e infine gli effetti della comprimibilità agli alti valori della velocità.

Si studiano in particolare i profili alari, le schiere di profili, l'ala finita, l'elica libera e intubata, l'aerodinamica dei ventilatori elicoidali.

Per seguire con profitto il corso è consigliabile lo studio preliminare delle nozioni generali di Idraulica.

1350-1351
ANALISI MATEMATICA I (per Meccanici e Nucleari)
Docente: **Enrico Obrecht** prof. ord.

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 (per Meccanici e Nucleari)
Docente: **Giovanni Dore** prof. ass.

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 colloca fra quelli di Costruzione di macchine e di Progetti di macchine, con lo scopo di fornire strumenti non convenzionali di ausilio alla progettazione di componenti di macchine e di componenti strutturali di impianti per mezzo dell'impiego di dati dedotti sperimentalmente da modelli in scala o da prototipi. Il corso tratta anche alcuni aspetti di modellazione numerica di strutture e dei relativi metodi di calcolo.

Il corso tratta in particolare i seguenti argomenti:

— Principali tecniche sperimentali di analisi delle tensioni (fotoelasticità, estensimetria, lacche fragili, interferometria);
— Analisi sperimentale delle tensioni e sua influenza sulla progettazione meccanica: nell'avamprogetto e nelle prove su prototipo;
— Applicazione dell'analisi sperimentale delle tensioni allo studio del comportamento dei materiali: tecniche sperimentali nella meccanica della frattura;
— Metodi numerici di analisi delle tensioni: il metodo degli elementi finiti nell'inquadramento delle prove sperimentali.

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

6462
CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE (per Meccanici e Chimici)
Docente: **Arnaldo Chiarini** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Chimica).

1358
CHIMICA (per Meccanici e Minerari)
Docente: **Bruno Fortunato** prof. ass.

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

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.

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.

Parte IV — Gli elementi chimici: metalli alcalini; alcalino-terrosi; elementi del terzo e quarto gruppo (B, Al, C, Si, Sn, Pb); elementi del quinto e sesto gruppo (N, P, O, S); alogeni ed alcuni elementi di transizione. Elementi di chimica organica.

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

Testi consigliati:

1) P. CHIORBOLI, *Fondamenti di Chimica*, Ed. UTET, 1976.
2) B.H. MAHAN, *Chimica Generale ed Inorganica*, Ed. Ambrosiana, 1971.
3) R. BRESCHI e A. MASSAGLI, *Stechiometria*, Ed. G. Pelletrini, 1973.

Svolgimento degli esami: Discussione orale di argomenti svolti nel corso e risoluzione di un problema di stechiometria.

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 può incontrare nello svolgimento della professione. Questa formazione viene realizzata mediante lo studio dei materiali, correlandone le caratteristiche chimiche e chimico-fisiche con le proprietà meccaniche, termiche e di lavorabilità, esaminando inoltre le possibilità di intervenire sulle loro strutture per renderli più confacenti all'uso.

Programma

Le acque: proprietà chimiche e fisiche e trattamenti per renderle atte all'alimentazione di caldaie; all'impiego nei circuiti di raffreddamento ed alla loro immissione nell'ambiente dopo la utilizzazione.

Combustibili: studio della combustione e dei principali combustibili naturali ed artificiali.

Lubrificanti: oli e grassi lubrificanti.

Materiali ferrosi: studio delle strutture e dei cambiamenti strutturali delle leghe ferro-carbonio in relazione alle loro caratteristiche meccaniche.

Corrosione dei metalli: studio della corrosione umida e della corrosione secca dei metalli e dei metodi di protezione.

Materie plastiche ed elastomeri: caratteristiche chimiche e fisiche e cenni sui metodi di produzione e lavorazione delle materie plastiche e delle gomme di uso comune.

Materiali refrattari: classificazione e caratteristiche.

Leganti aerei ed idraulici: calci e cementi e loro impiego nella confezione di malte e conglomerati cementizi.

Propedeuticità consigliate: Chimica.

Testi consigliati:

1) Appunti del Corso.
2) GIRELLI, *Trattato di Chimica Ind. ed Applicata*, Zanichelli, Bologna.
3) BIANCUCCI e DE STEFANI, *Il trattamento delle acque per uso industriale*, Hoepli, Milano.
4) BIANCHI e MAZZA, *Fondamenti di corrosione e protezione dei metalli*, Tamburini.
5) *Struttura e proprietà dei materiali*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, Vol. II — *Termodinamica strutturale*, Vol. III, *Proprietà meccaniche*.

Svolgimento degli esami

L'esame è costituito da una prova scritta integrata da un colloquio.

La prova scritta consiste nella discussione di un problema pratico e di due serie di quesiti attinenti il programma svolto.

Indirizzo delle tesi

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

2022

COMPLEMENTI DI COSTRUZIONE DI MACCHINE

Docente: **Gianluca Medri** prof. ass.

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.

Il corso è articolato in tre parti:

Meccanica dei continui: Teoria dell'elasticità finita (con cenni di calcolo tensoriale) e lineare (materiale isotropo ed anisotropo). - Teoria della viscoelasticità lineare e non lineare. - Effetti termici in campo elastico e viscoelastico.

Caratteristiche meccaniche dei materiali non metallici: Materiali compositi. - Materie plastiche. - Gomme ed elastomeri. - Vetri e ceramici.

Calcolo e progetto di componenti: Guarnizioni, molle e tubazioni in gomma. - Elementi strutturali in vetroresina e carboresina. - Giunti incollati. - Freni. - Cinghie trapezoidali e dentate.

Sono a disposizione degli studenti dispense del corso, redatte dal docente, ed una estesa bibliografia di testi specialistici riguardanti i singoli argomenti.

L'*esame* consiste in una prova scritta e nella discussione di una breve ricerca effettuata dallo studente su di un argomento a sua scelta.

Le *tesi di laurea* hanno un carattere di ricerca teorica e/o sperimentale anche a carattere di «stage» presso industrie italiane.

Propedeuticità consigliate: Scienza delle costruzioni, Costruzioni di macchine, Meccanica applicata alle 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:

Dispense redatte dal docente; ampia bibliografia consigliata, a richiesta, durante il corso.

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: **Vincenzo Parenti Castelli** prof. ass.

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.

201
COSTRUZIONE DI MACCHINE
Docente: **Gustavo Favretti** 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.

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

E' 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.

1363

DISEGNO (per Meccanici)

Docente: **Vincenzo Dal Re** 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'interpretazione 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.

3781
DISEGNO II (per Meccanici e Minerari)
Docente: **Gianluca Medri** prof. ass. (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.

9628
ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (per Meccanici e Minerari)
Docente: **Andrea Zanoni** prof. ass. (inc.)

Il corso sviluppa gli argomenti di base per la comprensione delle problematiche organizzative e gestionali dell'impresa industriale con particolare riguardo a: posizionamento competitivo, strategie di base, politiche funzionali (finanza, marketing, produzione, acquisti), strutture organizzative, amministrazione e controllo. Data la vastità dei temi, il livello di approfondimento con cui verranno sviluppati non potrà essere elevato; l'obiettivo del

corso è quello di mettere in grado gli studenti di comprendere le principali relazioni interfunzionali e tra impresa ed ambiente.

Per la preparazione si consigliano le seguenti letture seguente l'ordine indicato all'interno delle parentesi []:

ANSOFF-BRANDEBURG, Definizione e programmazione della struttura organizzativa, in Problemi di gestione n. 3-4 e 5/1972 [12]
BRANDOLESE-BRUGGER-GARETTI-MUSUL, *Analisi dei sistemi di produzione manifatturiera*, in «Finanza, Produzione, Marketing», n. 1/1985 [5]
BRANDOLESE-GIACOMAZZI, *Come analizzare il ruolo strategico del sistema produttivo*, in «L'impresa», n. 1/1979 [7]
BRUSA, *L'amministrazione e il controllo*, ed. Etas Libri, 1983 (Capp. 2-3) [3]
HOVARD, *La gestione delle scorte*, in «Problemi di gestione», n. 1/1976 [8]
ONADO (a cura di), *Analisi finanziaria per i fidi bancari*, ed. F. Angeli 1979 (capp. 6-7) [10]
PORTER, *Il vantaggio competitivo*, ed. Comunità, 1987 (capp. 1-2) [2]
RISPOLI, *L'impresa industriale*, ed. Mulino, 1984 (capp. 2 [1] - 3 [4] - 6 [9] - 7 [11])
SKINNER, *Produzione e strategia aziendale*, in «Sviluppo e organizzazione», n. 16/1973 [6]

Per reperire le fonti segnalate gli studenti possono rivolgersi al Dipartimento di Ingegneria delle costruzioni meccaniche nucleari aeronautiche e di metallurgia.

In alternativa alle letture indicate sopra, gli studenti che preferiscono prepararsi su un unico testo possono studiare:
RISPOLI (a cura di), *L'impresa industriale*, ed. Mulino, 1984.

Le prove d'esame (è prevista unicamente una prova orale) si sostengono presso la Facoltà di Ingegneria nelle date fissate dal calendario di esami della Facoltà e ci si iscrive in lista la mattina stessa dell'appello.

Gli studenti che nell'Anno Accademico 1985/86 hanno inserito nel loro piano di studio l'esame di Tecnica Industriale e Commerciale e sono in debito di prova, sono invitati a sostenere l'esame negli stessi appelli previsti per Economia e Organizzazione Aziendale e possono portare, a loro scelta, o il programma del loro anno di corso o il programma sopra esposto.

6794
ELETTROTECNICA
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 ma-

gnetici 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 e Nucleari)
Docente: **Marco Capponi** prof. ass.

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 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

Università di Bologna BIBLIOTECA

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.

1375-1376
GEOMETRIA (per Nucleari, Meccanici)
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.

6799
IDRAULICA (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 tra-

smesse 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.

515
IMPIANTI MECCANICI
Docente: **Sergio Fabbri** prof. ord.

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.

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 (per Meccanici)
Docente: **Domenico Casadei** prof. ass.

Finalità del Corso.

Il Corso si propone di presentare agli allievi ingegneri le problematiche relative agli impianti ed agli azionamenti elettrici negli stabilimenti industriali. Saranno esaminati gli aspetti inerenti la sicurezza degli impianti elettrici nell'ambito della normativa vigente. Lo studio delle macchine elettriche tenderà ad evidenziarne le caratteristiche di funzionamento in riferimento ai vari tipi di impiego negli azionamenti elettrici, considerando in modo particolare le tecniche di alimentazione con dispositivi a stato solido.

Verranno inoltre esaminati i componenti elettrici ed elettromeccanici che trovano impiego nelle macchine a controllo numerico ed illustrate le possibilità di impiego dei microprocessori nel controllo delle macchine.

Programma

Impianti elettrici: Schema elettrico di un impianto industriale, calcolo delle correnti di corto circuito, dimensionamento cavi e coordinamento delle protezioni. Apparecchiature automatiche di rifasamento, gruppi di continuità, gruppi elettrogeni.

Macchine elettriche: Caratteristiche di funzionamento dei motori asincroni e dei motori in corrente continua, problemi di avviamento, servizio continuo ed intermittente, protezioni contro i sovraccarichi. Caratteristiche di funzionamento dei motori sincroni a rilut-

tanza, dei motori brushless e dei motori passo-passo. Campi di applicazione delle macchine elettriche.

Regolazione della velocità: Elementi di conversione statica dell'energia elettrica. Sistemi di conversione che prevedono il recupero di energia. Azionamenti di motori a corrente continua alimentati tramite raddrizzatori controllati e tramite chopper. Azionamenti di motori asincroni alimentati tramite inverter. Azionamenti di motori sincroni e motori brushless. Azionamenti a moto incrementale (motori passo). Confronti fra i vari azionamenti.

Trasduttori di posizione e di velocità. Generalità sui microprocessori e possibilità di impiego nel controllo dei processi. Procedure tipiche nella gestione di dispositivi di input-output. Analisi di particolari problemi di carattere applicativo.

Testi consigliati:

A.E. FITZGERALD, C. KINGSLEY JR., A. KUSKO, *Macchine Elettriche*, Franco Angeli Editore.

JOHN M.D. MURPHY, *Thyristor Control of A.C. Motors*, Pergamon Press.

RONALD J. TOCCI, LESTER P. LASKOWSKI, *Microprocessor and Microcomputer*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Appunti integrativi forniti durante il Corso.

L'*esame* consta di una prova orale.

670
MACCHINE UTENSILI
Docente: **Orio Zurla** prof. ass.

Il corso si prefigge lo scopo di fornire agli allievi ingegneri meccanici una conoscenza, per quanto possibile critica, dei principali processi ad asportazione di truciolo impiegati nella prassi industriale.

Particolare attenzione è riservata alla discussione dei criteri che consentono di stabilire una sequenza logica delle operazioni e delle fasi di lavorazione necessarie per trasformare un grezzo, o un semilavorato, in un prodotto finito.

Programma

Una breve introduzione mette in rilievo quali sono i principali componenti che costituiscono il sistema Macchina utensile e l'inserimento di questa nel processo produttivo.

Segue un esame teorico-pratico del meccanismo del taglio dei metalli con utensili a punta singola in taglio libero ed ortogonale (o bidimensionale) e l'influenza su di esso delle variabili tecnologiche. Viene successivamente indicato il procedimento per estendere i risultati precedenti a condizioni di taglio tridimensionale (od obliquo) con esempio di applicazione al caso della tornitura.

Questa prima parte si conclude con l'analisi delle caratteristiche dei principali materiali per utensili, delle caratteristiche di taglio e della loro scelta in base a criteri tecnico-economici.

Nella seconda parte del corso vengono trattate le macchine utensili convenzionali, gli utensili in esse impiegati e le lavorazioni da esse effettuabili.

A completamento di questa parte si affronta lo studio delle attrezzature di montaggio e di lavoro, dei loro principali componenti e dei comandi meccanici, oleodinamici ed elettrici delle macchine utensili.

La terza parte del corso è dedicata all'analisi dei sistemi produttivi più recenti quali Macchine Utensili a controllo numerico, centri di lavorazione, sistemi di lavorazione integrati flessibili.

Le nozioni propedeutiche necessarie riguardano argomenti trattati nei corsi di Tecnologia Meccanica, Costruzione di Macchine e Meccanica Applicata alle Macchine.

Testi consigliati:

E. FUNAIOLI, *Lezioni di Macchine Utensili*, Ed. Cooperativa 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)
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.* Sistemi ad un grado di libertà: eccitazione transitoria, sistemi non lineari. Sistemi 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 industriali. Sistemi continui. Applicazioni tecniche. In questa parte del corso è prevista la possibilità di 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. 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.*

1379-1380
MECCANICA RAZIONALE (per Meccanici e Nucleari)
Docente: **Mauro Fabrizio** prof. ord.

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. Pendolo di Foucault.

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:

D. GRAFFI, *Lezioni di Meccanica razionale*, Pàtron, Bologna.

Appunti integrativi distribuiti dal Docente.
Testi di consultazione:
AGOSTINELLI-PIGNEDOLI, *Meccanica razionale*, Zanichelli, Bologna.
CERCIGNANI, *Spazio, tempo, movimento*, Zanichelli, Bologna.
GRIOLI, *Lezioni di Meccanica razionale*, Cortina, Padova.
TEDONE, *Meccanica razionale*, Veschi Roma.

L'*esame* è costituito da una prova scritta ed una orale.

Propedeuticità consigliate: Analisi matematica I e II, Geometria, 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 dimisura 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 programmazione.

818
PROGETTI DI MACCHINE
Docente: **Giorgio Bartolozzi** prof. ord.

Impostazione, sviluppo e gestione del progetto costruttivo delle macchine nei suoi aspetti funzionale, produttivo, economico.

Applicazione dei concetti fondamentali di progettazione integrata.

Testi consigliati:

R. GIOVANNOZZI, *Costruzione di macchine*, Patron, Bologna.
O. BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, Zanichelli, Bologna.
RUIZ, KOENISBERGER, *Design for Strenght and Production*, Macmillan, 1970.

Indirizzo delle tesi di laurea: Sperimentale; di progettazione.

886
SCIENZA DEI METALLI
Docente: **Giorgio Poli** prof. ass. (inc.)

Finalità del corso:

Introdurre i principi fondamentali della metallurgia fisica in base ai quali si interpretano i processi metallurgici tecnologicamente più importanti ed il comportamento di metalli e leghe metalliche in esercizio.

Prospettare le strette correlazioni tra proprietà generali, composizione e struttura dei materiali metallici, evidenziando quegli aspetti dello stato difettivo che consentono di interpretare a livello microscopico e macroscopico i fenomeni di scorrimento nei materiali metallici.

Caratterizzare i materiali metallici sotto il profilo corrosionistico ed esaminare i provvedimenti contro la corrosione da prendere in fase di progettazione e di scelta dei materiali.

Programma

Solidificazione dei metalli e leghe; stato solido; proprietà elastiche; anelasticità; struttura reale dei solidi cristallini; deformazione di metalli e leghe; diffusione nei metalli e nelle leghe; rinvenimento e ricristallizzazione; trasformazione allo stato solido; trattamenti termomeccanici; scorrimento viscoso; fatica; frattura fragile e duttile; materiali per alte e basse temperature; corrosione secca e a umido.

Il corso è integrato da alcune *esercitazioni* di metallografia, frattoscopia e analisi di casi pratici di corrosione.

Propedeuticità consigliate: Tecnologia meccanica.

Testi consigliati:

1) D. SINIGAGLIA, *Metallurgia*, Edizioni CLUP, Milano.
2) W. HAYDEN, W.G. MOFFAT, J. WULFF, *Proprietà meccaniche*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano.
3) I. CRIVELLI VISCONTI, *Appunti dal Corso di Scienza dei Metalli*, Edizioni Liguori, Napoli.

La prova di *esame* è orale.

Indirizzo delle *tesi di laurea*: Tecnologico con particolare riferimento ai processi che tendono a caratterizzare ed a migliorare le proprietà dei materiali metallici.

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, nel campo di comportamento elastico lineare dei materiali.

Programma

Analisi della deformazione. Campo di spostamento all'intorno di un punto di un mezzo continuo e deformabile. Componenti di moto rigido e componenti di deformazione. Tensore di deformazione. Direzioni e dilatazioni principali di deformazione. Le condizioni di compatibilità interna.

Analisi della tensione. Equazioni di equilibrio del corpo rigido. Tensione interna. Componenti cartesiane e componenti speciali di tensione. Equazioni di Cauchy. Teorema di reciprocità delle componenti mutue. Equazioni indefinite di equilibrio e ai limiti e loro rappresentazione in notazione tensoriale, matriviale ed operatoriale.

Relazioni generali. Il teorema dei valori virtuali per i corpi deformabili. L'equazione dei lavori virtuali. Elementi di calcolo delle variazioni. I principi delle forze e degli spostamenti virtuali. Principio della minima energia potenziale totale.

Equilibrio elastico. Il corpo elastico lineare. Leggi di Hooke. L'ipotesi di isotropia.

Il principio dell'equilibrio elastico. Formulazione in termini di sole forze (equazioni di Beltrami-Mitechell), di soli spostamenti (equazioni di Navier-Lamé), ed in modo misto.

I metodi di soluzione del problema dell'equilibrio elastico: metodo delle tensioni e metodo degli spostamenti. I teoremi del lavoro di deformazione: teorema di Clapeyron, il teorema di Betti, primo teorema di Engesser, secondo teorema di Castigliano. Metodi di soluzione approssimati del problema dell'equilibrio elastico: il metodo di Ritz-Rayleigh, il metodo degli elementi finiti.

Il problema di Saint-Venant. Impostazione generale. Postulato di Saint-Venant. I quattro casi fondamentali. La flessione reatta. Flessione composta. Torsione, il centro di torsione. Sollecitazione di taglio e flessione; trattazione approssimata di Jourawski.

Criteri di resistenza

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.

Problemi piani e meccanica della frattura. Stati piani di deformazione e tensione generalizzati. Equazioni dell'elasticità piana. Funzioni delle tensioni di Airy. Metodo delle trasformazioni conformi e degli integrali di Cauchy.

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).

2224
TECNOLOGIA 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. straord.

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.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTROTECNICA 2003

Programmi delle materie di insegnamento

1351 Analisi matematica I
1368 Fisica I
1376 Geometria
1355 Analisi matematica II
1373 Fisica II
1380 Meccanica razionale
2004 Metodi di osservazione e misura
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
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.

Il Corso, pur di indirizzo specialistico, persegue la finalità di contribuire alla formazione culturale del progettista moderno, che sempre più frequentemente svolge la sua opera con l'ausilio del calcolatore numerico. Gli obiettivi principali consistono dapprima nel fornire all'allievo gli elementi di base di progettazione delle macchine elettriche, e poi nell'approfondire alcune metodologie di calcolo, da impiegarsi al calcolatore numerico, intese alla ricerca del dimensionamento ottimale.

Il Corso si articola in: a) lezioni; b) esercitazioni numeriche in aula; c) seminari.

Programma

1. Introduzione al calcolo di una macchina elettrica. Metodi diretti ed iterativi. Progettazione con l'ausilio del calcolatore numerico: a) programma per il dimensionamento; b) programma per l'ottimizzazione.
2. Progetto di massima delle macchine elettriche. Progetto libero e vincolato. Similitudini delle macchine. Grandezze ideali di una macchina elettrica.
3. Dimensionamento elettromagnetico delle m. elettriche tramite l'ausilio del calcolatore numerico. Dimensionamento del trasformatore, m. asincrona, m. sincrona, m. corrente continua.
4. Calcolo termico delle macchine elettriche. Reti termiche e determinazione delle temperature medie. Calcolo puntuale della distribuzione della temperatura di una m. elettrica.
5. Metodi di ricerca dell'ottimo nel dimensionamento di una macchina elettrica.
6. Modelli matematici per lo studio della dinamica delle macchine elettriche.

7. Argomento particolare, variabile di anno in anno, sulla regolazione e sulla dinamica di una macchina elettrica.

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.

4501

CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE (per Elettrotecnici)

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.

86
CENTRALI ELETTRICHE
Docente: **Mario Pezzi** prof. ass. (inc.)

Programma

Fonti di approvvigionamento di energia, comparazione dei costi e previsione di approvvigionamento delle stesse — costo di produzione dell'energia elettrica in relazione alle diverse caratteristiche degli impianti — brevi cenni sui problemi tariffari e sui relativi provvedimenti di legge — richiamo delle caratteristiche tecniche di esercizio e progettazione degli impianti idroelettrici, termoelettrici (cicli a vapore, turbogas, gruppi diesel), termonucleari.

La parte che riguarda gli impianti nucleari viene fatta precedere da un breve richiamo sulla struttura dell'atomo, le reazioni nucleari, i fenomeni di radioattività e la fissione dell'atomo.

Come problemi tecnici specifici vengono poi affrontati i problemi riguardanti l'inquinamento, in relazione ai vari tipi di combustibile, le corrosioni negli impianti termoelettrici sia ad alta che a bassa temperatura ed infine vengono richiamati gli schemi elettrici funzionali delle centrali elettriche.

Viene infine affrontata la tecnica del funzionamento automatico delle centrali elettriche di tipo tradizionale.

Nell'ambito delle esercitazioni, si effettuano 1-2 visite tecniche.

1359
CHIMICA (per Elettrotecnici)
Docente: **Marino Poloni** prof. ass.

5693
CHIMICA FISICA DEI MATERIALI ELETTRICI
Docente: **Francesco Pilati** prof. ass.

Il corso si propone di fornire una base unificante per la comprensione delle proprietà e del comportamento dei materiali nelle situazioni di impiego più comuni nell'elettrotecnica, ed è finalizzato ai successivi corsi applicati e tecnologici.

Programma

Materiali monocristallini, policristallini ed amorfi. Metalli e leghe metalliche. Ceramici: materie prime e tecnologia. Polimeri e copolimeri. Termoplastici e termoindurenti. Elastomeri. Principali metodi di sintesi. Struttura, cristallinità e proprietà dei polimeri.

Difetti dei materiali e proprietà. Microstruttura e proprietà dei materiali. Segregazione, raffinazione per zone, inviluppi. Processi di nucleazione ed accrescimento di nuove fasi. Trattamenti termici. Cenno ai processi di trasporto di materia nei solidi. Sinterizzazione.

Proprietà elettriche dei materiali: conduttori, semiconduttori, isolanti. Conduzione elettrica e conducibilità elettrica. Regole di Mathiessen e Nordheim. Superconduttori. Principali materiali conduttori impiegati nella tecnica. Semiconduttori intrinseci ed estrinseci. Droganti e meccanismi di conduzione. Materiali isolanti e dielettrici. Processi elementari di conduzione. Processi elementari di polarizzazione. Costante dielettrica complessa e processi di rilassamento dielettrico nei materiali. Equazioni di Debye. Principali materiali isolanti impiegati nella tecnica. Processi elementari di scarica elettrica nei materiali e rigidità dielettrica.

Proprietà magnetiche dei materiali. Principali materiali magnetici impiegati nella tecnica.

Proprietà meccaniche dei materiali. Elasticità lineare e non lineare. Plasticità. Frattura.

Testi consigliati:

J. WULFF et al., *Struttura e proprietà dei materiali*, CEA, Milano, 1975.
A.G. GUY, *Introduction to Materials Science*, McGraw-Hill, 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.

4118
COMPLEMENTI DI MACCHINE ELETTRICHE
Docente: **Giorgio Maria Rancoita** prof. ord.

Il corso analizza la dinamica delle macchine elettriche rotanti impostando una trattazione generale unitaria delle macchine stesse ai valori istantanei: in essa compaiono i flussi in due circuiti magnetici a 90° elettrici fra loro; le correnti negli avvolgimenti statorici, negli avvolgimenti rotorici con eventuale accesso da anelli, negli avvolgimenti rotorici con collettore e lame; la coppia all'albero.

Riconosciuti come casi particolari i funzionamenti di regime già noti delle principali macchine elettriche, i regimi sinusoidali vengono visualizzati nei diagrammi polari, che per le macchine asincrone polifasi e monofasi e le sincrone a poli lisci risultano circolari e visti unitariamente.

Vengono poi studiati i funzionamenti di macchine elettriche speciali.

Indi il metodo viene applicato allo studio dei 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, formato da tavole di sintesi della materia.

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 si propone di porre in evidenza le esigenze ed i problemi che derivano dalla costruzione e dall'esercizio delle macchine elettriche. In particolare vengono affrontati i problemi di natura elettromagnetica, meccanica, e termica che sono fondamentali per la realizzazione delle macchine stesse. Inoltre vengono richiamate le Norme del C.E.I. inerenti la costruzione, l'installazione e l'esercizio delle macchine elettriche.

Programma

— Trasformatori. Materiali impiegati, circuiti magnetici, tipi di avvolgimento, elementi di progetto del trasformatore. Disegni d'insieme e di particolari. Perdite nel rame e nel ferro. Sforzi elettrodinamici, problemi termici, rumori. Studio delle sovratensioni, e accorgimenti costruttivi inerenti. Dispositivi di protezione. Sovracorrenti di inserzione e di corto circuito. Trasformatori speciali.

— Macchine rotanti. Principali elementi costitutivi e materiali impiegati. Circuiti magnetici. Avvolgimenti di tipo trifase, avvolgimenti rotorici per motori a gabbia e ad anelli. Avvolgimenti di eccitazione per macchine sincrone e a corrente continua. Avvolgimenti di indotto per macchine a corrente continua. Dati ed elementi di base per il progetto delle macchine elettriche rotanti. Disegni di insieme e di particolari. Dimensionamento degli alberi, velocità critiche, vibrazioni ed equilibratura dei rotori. Rumori, perdite e raffreddamento. Condizioni e tipo di servizio.

— Azionamenti elettrici. Problematiche inerenti l'avviamento, la frenatura e la regolazione della velocità delle macchine elettriche. Impiego del raddrizzatore controllato, del

chopper e dell'inverter. Criteri di ottimizzazione delle caratteristiche di funzionamento delle macchine rotanti. Simulazione digitale di azionamenti impieganti macchine in corrente continua e macchine in corrente alternata.

Testi consigliati:

E. Di Pierro, *Costruzioni Elettromeccaniche*, Ed. Siderea.
E. Pagano, A. Perfetto, *Costruzioni Elettromeccaniche*, Ed. Massimo, Napoli.
B.J. Chalmers, *Electric motor Handbook*, Butterworths, 1988.

1364-4685
DISEGNO (per Elettrotecnici, Chimici, Minerari e Nucleari)
Docente: **Alberto Maggiore** prof. ord. (inc.)

Il corso ha lo scopo di fornire una base concettuale per l'interpretazione e l'esecuzione del disegno. In particolare si affrontano le regole generali di rappresentazione del disegno tecnico, fornendo richiami all'aspetto esecutivo di ogni rappresentazione grafica in campo ingegneristico.

Programma

Costruzioni geometriche fondamentali. Proiezioni ortogonali. Prospettiva cavaliera e norme UNI. Assonometria: isometrica, dimetrica e norme UNI. Vera forma di superfici piane. Le sezioni: scopo, tratteggio. Compenetrazione di solidi. Sviluppo di superficie. Disegno tecnico. Norme UNI sulle rappresentazioni. Sistema europeo ed anglosassone. Rappresentazione di viste ausiliarie e ruotate. Convenzioni particolari di rappresentazione. Sezioni nel disegno tecnico: norme unificate — sezioni con piani concorrenti, con piani paralleli, semiviste e semizione. Sezioni parziali. Quotatura: necessità e criteri generali. Quotature in serie, in parallelo, miste. Calibro a corsoio. Trapano, Tornio e loro modo di impiego. Quotature secondo controllo ed esecuzione. Proprietà e prove di materiali. Prova di rottura a trazione. Prove di durezza superficiale. Classificazione ghise, acciai. Rame e le sue leghe. Alluminio e le sue leghe. Filettatura: metrica, Whitworth, gas, trapezia e a dente di sega; rappresentazione convenzionale. Collegamenti con viti. Disegno di complessivi. Estrazione di particolari da complessivi. Collegamenti con chiodature e saldature. Organi di collegamento: chiavette longitudinali, linguette, profili scanalati. Esempi di montaggio. Calettamenti su cono. Anelli Seeger. Fresatrice universale e suo impiego. Ruote dentate. Rugosità superficiale. Tolleranze di lavorazione: necessità e criteri.

Testi consigliati:

SOBRERO, *Corso di disegno.*
MAIFRENI-ZAMBONI, *Disegno tecnico.*
STRANEO-CONSORTI, *Il Disegno tecnico.*
MANFE'-POZZA-SCARATO, *Disegno meccanico.*

Le esercitazioni consistono nella esecuzione di tavole che rappresentano l'esplicazione grafica degli argomenti trattati.

5694
ECONOMIA DELL'INGEGNERIA
Docente: **Nino Luciani** prof. ass.

Il corso si propone: a) di spiegare i metodi di valutazione e il criterio economico di scelta degli investimenti di capitale, in riferimento a soluzioni tecnologiche diverse; b) di offrire una serie di elementi integrativi, tratti da altre discipline, strettamente propedeutici come alcuni elementi di base dell'economia politica, o applicativi come alcuni elementi di diritto commerciale e di diritto tributario.

Programma

A — *Teoria degli investimenti di capitale.* Ruolo del capitale nello sviluppo della produzione — Definizione di rendimento del capitale — Condizione per l'impiego ottimale del capitale — Il tempo nella valutazione dei flussi di entrata e uscita — Investimento e finanziamento — Tasso di rendimento minimo remunerativo e tasso di interesse massimo ammissibile — Criterio di convenienza — Criteri di scelta tra più operazioni economiche: valore attuale, annualità equivalente, tasso di rendimento interno, interesse sull'investimento differenziale — Investimenti spuri — Deperimento e rinnovo degli impianti: metodi del costo opportunità e degli esborsi — Influenza dell'imposta sulla redditività degli investimenti — Imponibile e ammortamento fiscale — Esenzione degli interessi sul capitale di prestito — Trattamento della perdita d'esercizio — Imposta e scelta della fonte di finanziamento — Imposta e rinnovo degli impianti.

Appendice: Elementi propedeutici di matematica finanziaria. Leggi di attualizzazione e capitalizzazione — Capitalizzazione e interesse — Capitalizzazione e sconto commerciale — Annualità e perpetuità — Montante di capitalizzazione — Valore attuale — Ammortamento di debito — Costituzione di montante — Annualità e perpetuità differite — Nuda proprietà e usufrutto di prestito — Equivalenza finanziaria.

B — *Elementi di base dell'economia.* Il sistema dei prezzi nell'economia di mercato — La domanda e l'offerta — L'impresa e sue motivazioni — L'organizzazione della produzione — Problema del finanziamento — Il profitto — Tipi di costi: fissi e variabili; totali,

medi, marginali — L'equazione della tecnica — L'economia di scala — Configurazioni di mercato: concorrenza e monopolio — Fattori produttivi e distribuzione del reddito — L'offerta di lavoro e il salario — Il capitale e l'interesse — Commercio internazionale — Cambi esteri — L'equilibrio macroeconomico: modello del flusso circolare del reddito — La moneta — Il sistema bancario — Motivi determinanti la domanda di moneta — Emissione di moneta legale della banca centrale — La moneta bancaria — Livello generale dei prezzi e quantità di moneta — L'inflazione da costi e da domanda — Il valore della moneta e l'indice dei prezzi — Base monetmaria e canali di creazione della stessa — Il controllo della circolazione monetaria (riserva obbligatoria, operazioni di mercato aperto, manovra del tasso di sconto) — Le fasi cicliche del sistema economico e la politica economica «compensativa».

C — *Argomenti specifici*: 1) *Il sistema fiscale*: sua logica e criteri generali di ripartizione delle imposte — Le principali imposte: IRPEF, IRPEG, ILOR, INVIM, IVA — Il catasto. 2) *Organizzazione dell'impresa*: imprese individuali, società di persone, società di capitali, società cooperative. 3) *Finanziamento dell'impresa*: l'«azione» come fonte di costituzione del capitale sociale — Tipi di azione — Reddito delle azioni — Le obbligazioni — Il finanziamento bancario a breve — Il mercato dei capitali — La borsa valori. 4) *Contabilità aziendale*: rendiconto d'esercizio, stato patrimoniale — Contabilità economica e contabilità fiscale — Rilevanza della svalutazione monetaria nella contabilità. 5) *Contabilità nazionale*: formazione, distribuzione e impiego del reddito nazionale — La Pubblica Amministrazione — Il bilancio economico nazionale — Conto della formazione del capitale — Pressione fiscale.

Testi:

1) Dino Zanobetti, *Economia dell'ingegneria*, Pàtron ed., Bologna.
2) R.G. Lipsey, *Introduzione all'economia*, Etas Libri, Milano, 1986.
3) V. Del Punta, *Le basi dell'economia politica*, D'Anna ed., Firenze.
4) P. Bosi, *I tributi nell'economia italiana*, Il Mulino ed., Bologna.

9041
ELEMENTI DI FISICA E DI INGEGNERIA DEI PLASMI
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: Elettrotecnica I, Elettrotecnica II.

277
ELETTROTECNICA I
Docente: **Ugo Reggiani** prof. ord.

L'insegnamento di Elettrotecnica I ha essenzialmente lo scopo di fornire agli allievi un quadro sintetico delle leggi dell'elettromagnetismo e di sviluppare le problematiche relative all'elettromagnetismo stazionario e lentamente variabile. Si esaminano i concetti e gli

approcci metodologici per la soluzione dei problemi di campo stazionario e quasi-stazionario nelle apparecchiature e nei sistemi elettrici di potenza. Si ricavano, a partire dalla teoria dei campi, le relazioni fondamentali della teoria dei circuiti, teoria che viene sviluppata in dettaglio nel corso successivo di 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 campo con assegnate condizioni al contorno

Metodi analitici, metodo delle immagini e metodi numerici.

Campo elettrostatico

Equazioni e potenziale elettrostatico. Campo elettrostatico di un sistema di conduttori. Coefficienti di capacità e di potenziale. Capacità parziali. Schermo elettrostatico. Condensatori. Capacità di servizio di linee aeree in presenza della terra e di linee in cavo. Energia del campo elettrostatico.

Elettrodinamica stazionaria

Campo elettrico e campo di corrente stazionari — Determinazione del campo di corrente generato in un conduttore da una assegnata d.d.p. stazionaria fra gli elettrodi. Resistenza ohmica di un conduttore. Analogia fra campo elettrostatico e campo di corrente stazionario.

Campo magnetico generato da correnti stazionarie — Equazioni e potenziale vettore magnetico. Potenziale scalare magnetico. Metodi per la determinazione del campo magnetico generato da una assegnata distribuzione di correnti stazionarie. Energia del campo magnetico. Coefficienti di auto e mutua induzione: definizione tramite l'energia magnetica e definizione tramite il flusso concatenato. Fattore di accoppiamento. Coefficiente di autoinduzione di un cavo coassiale; coefficienti di auto e mutua induzione di linee a conduttori paralleli.

Elettrodinamica non stazionaria

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 teoria 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.

279
ELETTROTECNICA II
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.

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 quindi negli allievi la conoscenza dei singoli elementi costitutivi degli impianti elettrici e ne studia viceversa il comportamento, considerando tali elementi integrati in un sistema.

Programma

Dopo alcuni necessari richiami di matematica, di teoria dei sistemi trifase ecc., il corso analizza essenzialmente i seguenti aspetti e problemi dei sistemi elettrici: sovratensioni, protezioni, coordinamento degli isolamenti; correnti di corto circuito in reti complesse e relative protezioni; regolazione della tensione nelle reti AT, MT e BT, rifasamento; regolazione della frequenza nelle reti e ripartizione del carico attivo; interconnessioni e problemi relativi; problemi di stabilità delle trasmissioni; problemi di sicurezza negli impianti AT e MT e negli impianti utilizzatori; schemi di stazioni, cabine ecc.; analisi dei costi dei sistemi e problemi di convenienza economica. Cenni sui sistemi di telecomunicazione, telemisura, telecomando e telesegnalazioni utilizzati per l'esercizio delle reti elettriche.

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.

Testi consigliati:

N. FALETTI, *Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica*, 2 vol. Pàtron, Bologna.

6797
FISICA TECNICA (per Elettrotenici, Chimici, Nucleari)
Docente: **Enzo Zanchini** prog. 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).

Sono disponibili *tesi di laurea* di carattere teorico o sperimentale, su temi di: fondamenti di termodinamica, analisi termodinamiche dei processi tecnologici, risparmi energetici, termofluidodinamica.

5843-504
IMPIANTI ELETTRICI (per Elettrotecnici ed Elettronici)
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. Ca- bine.

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 molto maggiore attenzione alle particolarità, alle anomalie e ai difetti, perché, a differenza di quanto accade nello studio generale delle sostanze, i materiali si distinguono proprio per le particolarità che li possono rendere adatti o no ad un determinato impiego; e inoltre quello di segnalare i numerosi problemi che si incontrano nelle formulazioni delle specifiche dei materiali.

Il corso ha poi uno scopo di carattere particolare che è quello di raccogliere ed inquadrare le informazioni relative alle caratteristiche, processi di fabbricazione e modalità di impiego dei materiali utilizzati in applicazioni che, pur non costituendo il principale interesse degli elettrotecnici, hanno tuttavia notevole importanza e possono comunque essere oggetto di interesse professionale.

Programma

Materiali conduttori speciali (per elementi riscaldanti e per lampade ad incandescenza, per termocoppie, per coppie bimetalliche, per elettrodi, per contatti fissi e mobili e per giunzioni elettriche, per pile e per accumulatori, per tubi a scarica e per generatori di plasma).

Materiali semiconduttori (per raddrizzatori a secco, per generatori elettrici speciali quali pile termoelettriche e pile solari, per celle fotoelettriche, resistori fotosensibili, varistori, resistori ferro-idrogeno, termistori ecc.).

Materiali dielettrici speciali (ferroelettrici, piezoelettrici, per cavi speciali).

Materiali magnetici speciali (per nuclei ad alta frequenza, per nuclei di amplificatori magnetici, per memorie magnetiche, per magneti permanenti).

Nell'analisi del comportamento dei materiali sono introdotti richiami di fisica dei solidi e di scienza dei metalli con lo scopo di favorire l'inquadramento delle particolarità e di dare un indirizzo a coloro che desiderano approfondire gli argomenti anche da un punto di vista teorico. Vengono fornite *dispense* dattiloscritte di tutti gli argomenti del corso.

8073-1385
MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (per Elettrotecnici, Chimici, Minerari)
Docente: **Umberto Meneghetti** prof. ord. (inc.)

Scopo del corso:

Il corso fornisce agli allievi i concetti ed imetodi 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, gradi di libertà di un meccanismo, rendimento di una macchina.

Seconda parte: *Tribologia e lubrificazione.* Attrito di strisciamento e sue leggi; applicazioni: coppia prismatica, coppia rotoidale, coppia elicoidale, viti di serraggio; freni e frizioni. Attrito di rotolamento: tipologia, scelta e calcolo dei cuscinetti a rotolamento; guide e viti a ricircolazione di sfere; equilibrio di un veicolo su ruote. Usura e sue leggi; usura abrasiva, usura adesiva, fatica superficiale. La lubrificazione idrodinamica: equazione di Reynolds; pattino piano; cuscinetti Michell e Kingsbury; coppia rotoidale lubrificata; dimensionamento e verifica di un cucinetto. Cenni sulla lubrificazione elastoidrodinamica e sulla lubrificazione fluidostatica.

Terza parte: *Teoria dei meccanismi.* Impieghi tipici dei meccanismi. Sistemi articolati piani: sintesi per via grafica e per via analitica; analisi cinematica e cinetostatica; esempi ed applicazioni. Sistemi articolati spaziali in catena aperta per manipolatori di robot industriali. Il giunto di Cardano. Le ruote dentate cilindriche: dentature ad evolvente; trasmissione delle forze; ruote a denti elicoidali. Ruote dentate coniche. Coppia vite-ruota elicoidale. Rotismi ordinari e rotismi epicicloidali: rapporto di trasmissione; relazione fra i momenti; riduttori industriali; rotismi differenziali. Lavoro dissipato negli organi flessibili. Macchine di sollevamento: pulegge fisse e mobili, paranchi. Trasmissione del moto con organi flessibili: cinghie piatte, cinghie trapezoidali, catene. Freni a nastro.

Quarta parte: *Dinamica e vibrazioni delle macchine.* Generalità: azioni d'inerzia, energia cinetica, masse di sostituzione, equazioni fondamentali della dinamica. Macchine alternative: equilibrio dinamico di una macchina alternativa; compensazione delle azioni di inerzia. Impianti funzionanti a regime periodico: grado di irregolarità e calcolo del volano. Meccanica delle vibrazioni: sistemi a un grado di libertà: vibrazioni libere e forzate,

isolamento delle vibrazioni, fondazioni; sistemi a due e a più gradi di libertà: autovalori ed autovettori, analisi modale. Analisi sperimentale delle vibrazioni: la catena di misura; analisi del segnale; effetti delle vibrazioni in ambiente industriale; monitoraggio delle macchine e degli impianti; manutenzione, sorveglianza e diagnostica industriale. Dinamica dei rotori: equilibratura e macchine equilibratrici; velocità critiche flessionali. Caratteristica meccanica di una macchina; accoppiamento motore-utilizzatore. La regolazione della velocità angolare: equazione dell'impianto regolato; l'attuatore idraulico; schemi di regolatori.

Testo consigliato:

E. FUNAIOLI, *Meccanica applicata alle macchine*, Voll. 1 e 2, ed. Pàtron, Bologna.

Esercitazioni relative ad argomenti trattati nel corso.
Esami orali, con almeno una delle domande relative ad un esercizio.

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:

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

Misure in corrente continua: richiami sugli amplificatori in c.c.; voltmetri ed amperometri analogici; campioni di fem allo stato solido; richiami sui convertitori A/D e D/A; voltmetri numerici; misure di resistenza.

Misure in corrente alternata: frequenzimetro numerico; oscilloscopio; richiami sui moltiplicatori analogici e sull'effetto Hall; convertitori AC/DC a valor medio, a valore di cresta e a vero valore efficace; wattmetri elettronici analogici; maglia ad aggangio di fase (PLL); analizzatore di spettro; amplificatore ad aggangio di fase; ponti automatici di misura.

Misure con campionamento: registratori di transitori; oscilloscopio a memoria digitale; wattmetri a campionamento.

Banchi automatici di misura: interfaccia standard IEEE-488.

Le esercitazioni, svolte in laboratorio, riguardano l'uso degli strumenti studiati, la determinazione dei parametri caratteristici di un Op Amp e di un moltiplicatore, la realizzazione di un banco automatico di misura.

Propedeuticità consigliate: Misure Elettriche, Elettronica Applicata, Tecnologie dei sistemi di controllo.

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 statiche e dinamiche di componenti ed apparecchiature di misura.

Misure di impedenze.

Componenti di precisione e loro reti equivalenti. Influenza dei parametri indesiderati nei circuiti di misura. Ponti per misure a tre morsetti.

Misure di grandezze non elettriche.

Misure di temperatura: termometri a mercurio, a resistenza, termocoppie, pirometri; misura di temperatura media di avvolgimenti; problemi nell'uso di ponti a squilibrio per misure di temperatura.

Misure di velocità e di accelerazione: generatori tachimetrici; stroboscopi; altri metodi; accelerometri. Misure di coppia e di potenza meccanica. Misure di spostamento. Misure di rumore: trasduttori; fonometri; metodi per la determinazione della potenza sonora e del livello di pressione sonora.

Misure sulle macchine elettriche per la determinazione delle caratteristiche di funzionamento.

Problemi generali: caratteristiche nominali delle macchine elettriche; localizzazione delle perdite e loro eventuale riporto a temperatura convenzionale; misura del rendimento delle macchine elettriche.

Misure sui trasformatori: misura delle perdite; determinazione dei parametri del circuito equivalente; determinazione del rapporto di trasformazione; misura dell'impedenza alla sequenza zero; prove sugli autotrasformatori.

Misure sui motori asincroni: misura delle perdite e loro separazione; determinazione dei parametri del circuito equivalente; rilievo diretto della caratteristica meccanica; determinazione del diagramma circolare; determinazione dei parametri del circuito equivalente del motore monofase a condensatore.

Misure sulle macchine in corrente continua: misura delle resistenze; rilievo delle curve caratteristiche; determinazione del rendimento; misura dei parametri caratteristici nel funzionamento transitorio in corrente continua.

Misure sulle macchine sincrone: determinazione delle curve caratteristiche; determinazione delle reattanze di una macchina sincrona; valutazione delle perdite.

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. Metodi per la realizzazione del carico. Prove a circolazione d'energia. Prova in corto circuito per trasformatori in olio. Durata delle prove. 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 delle scariche parziali. 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 del corretto dimensionamento delle apparecchiature di protezione. Misure sugli impianti di terra: misura della resistività del terreno, della resistenza di terra, dell'impedenza di guasto, delle tensioni di passo e di contatto.

Misure di illuminamento.

Misure e prove sui componenti d'impianto.

Ponti per misure di capacità in alta tensione.

Prove sui cavi per energia.

Misure e prove su interruttori.

Propedeuticità consigliate: Misure Elettriche, Macchine Elettriche, Impianti Elettrici.

8075-6801
SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (per Meccanici ed Elettrotecnici)
Docente: **Erasmo Viola** prof. ord.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica)

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.

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 dei gruppi Tecnologie ed Impianti, soprattutto 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 è stato introdotto per sperimentare un frazionamento del programma della disciplina «Tecnologie Elettriche» e si propone lo studio delle tecnologie di apparati elettrici di potenza.

Il corso è caratterizzante dell'indirizzo «Tecnologie Elettriche» e si collega strettamente con le discipline «Tecnica delle Alte Tensioni» e «Applicazioni Industriali dell'Elettrotecnica».

Programma

Tecnologia dei cavi energia - Cavi per alta tensione: cavi a olio fluido e cavi estrusi. Altri cavi per alta ed altissima tensione: cavi a gas, cavi a temperature criogeniche, cavi a superconduttori. Degradazione dell'isolante e scarica. Giunti e terminali dei cavi per media ed alta tensione.

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.

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.

Tecnologia dei trasformatori di potenza - Tecnica dell'isolamento dei principali tipi di trasformatori per medie ed alte tensioni. Nuclei magnetici: materiali usati e tecnica costruttiva.

Testi consigliati: vengono forniti appunti preparati dal docente.

2049
TECNOLOGIE GENERALI
Docente: **Gustavo Favretti** prof. ord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare)

5751
TRAZIONE ELETTRICA E TERMICA
Docente: **Enrico Masi** prof. ass.

Finalità del corso

Il corso si propone di fornire notizie sui problemi inerenti ai vari tipi di trazione, principalmente elettrica ed essenzialmente quella ferroviaria, per quanto riguarda impianti fissi e materiale di trazione. L'argomento potrà avere in futuro sempre maggiore interesse, in considerazione della economia che i trasporti ferroviari realizzano rispetto ad altri sistemi.

Programma

Generalità. Sviluppo della trazione elettrica e termica. Sistemi di trazione attualmente impiegati per impianti ferroviari e per metropolitane, filobus e tram. Valutazione tecnico-economica della trazione elettrica e termica a confronto fra i vari sistemi di trazione.

Impianti fissi. Costituzione delle linee di contatto: problema elettrico e meccanico nella captazione della corrente. Correnti di ritorno e disturbi provocati dalle tensioni indotte sulle installazioni parallele. Esercizio degli impianti fissi: protezione e telecomandi.

Alimentazione in corrente continua: sottostazioni di conversione a raddrizzatori a vapori di mercurio e a semiconduttori e cadute di tensione.

Alimentazione in corrente alternata: sottostazioni di alimentazione e di conversione e cadute di tensione.

Meccanica della locomozione. Aderenza e resistenza al moto. Caratteristica meccanica di un mezzo di trazione. Parte meccanica di un mezzo di trazione, schemi di rodiggio, forze applicate sugli assi, variazioni del carico, trasmissione del movimento alle ruote. Dinamica di marcia: problemi e soluzioni in particolare per le alte velocità.

Motori di trazione. Motori a corrente continua. Costruzione e curve caratteristiche di giri e di coppia. Caratteristica meccanica.

Motori a corrente alternata a collettore. Diagramma di funzionamento e commutazione.

Motori a corrente ondulata.

Motori a corrente alternata trifase con regolazione di frequenza e tensione. Frenatura elettrica con i vari tipi di motori (reostatica o a recupero).

Indicazioni sui principali tipi di motori di servizio.

Cenni sul moto lineare.

Mezzi di trazione in corrente continua. Macchine con apparecchiature tradizionali; circuiti ed apparecchiature di trazione ed ausiliarie: pantografi, interruttore extrarapido, contattori, reostato, combinatori, motori ausiliari, ecc.

Avviamento reostatico e transizioni.

Macchine con apparecchiature di nuova concezione (elettroniche). Principio di funzionamento di chopper ed inverter. Disturbi provocati dagli azionamenti a tiristori: rimedi e protezioni.

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, elettrico.

Giunto idraulico e convertitore di coppia.

Locomotive diesel da manovra.

Trasmissione diesel-elettrica. Tipi di alimentazione a c.c. o a c.a. Problemi di regolazione.

Veicolo elettrico ad accumulatori. Caratteristiche delle batterie accumulatori utilizzate

per la trazione. Schemi di trazione e di frenatura.

Cenni sulla sostentazione magnetica con indicazione delle sperimentazioni effettuate.

Evoluzione degli equipaggiamenti di trazione.

Testi consigliati:

A. ORLANDI, *Principi di Ingegneria dei Trasporti*. Ed. Pàtron, Bologna.
F. PERTICAROLI, *Trazione elettrica*. Ed. Clup, Milano.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA 2004

Programmi delle materie di insegnamento

1351 Analisi matematica I
1355 Analisi matematica II
1368 Fisica I
1373 Fisica II
1376 Geometria
1380 Meccanica razionale
v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile

4685 Disegno
6797 Fisica tecnica
6693 Chimica fisica dei materiali elettrici
1385 Meccanica applicata alle macchine
v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica.

5801
ANALISI DEI SISTEMI DELL'INGEGNERIA CHIMICA

Docente: **Gigliola Spadoni** prof. ass.

Finalità del corso

Il corso fornisce elementi per lo studio di problemi connessi con lo sviluppo di un processo e con l'analisi dei rischi negli impianti. Particolare attenzione è rivolta a metodologie per il progetto automatico e la simulazione degli impianti chimici, a metodi per la ricerca della configurazione ottima di un impianto o di sue sezioni e a tecniche di analisi quali-quantitative di alberi dei guasti.

Programma

Parte I. Analisi del flow-sheet di un impianto chimico. Metodi di rappresentazione del flow-sheet: schema a blocchi, diagramma di flusso di informazioni, grafo direzionato.

Tecniche di decomposizione dei grafi direzionati: algoritmi di ricerca dei sottosistemi irriducibili, dei sistemi disgiunti. Problema del «tearing». Caratteristiche di un programma generale di simulazione delle condizioni di marcia di un impianto. *Bilanci di materia ed energia per un impianto chimico*. Sistemi di equazioni algebriche non lineari a elevate dimensioni: alcuni metodi di decomposizione. Metodi di risoluzione simultanea dei sottosistemi: Newton, Marquardt, gradiente. Metodi iterativi.

Parte II. Sintesi di un processo. Ricerca della configurazione ottimale di sezioni di un impianto con metodi euristici, strategie evolutive, metodi di ricerca diretta. *Sintesi di reti di scambiatori*. Metodo grafico mediante diagramma del contenuto termico, metodo euristico di Ponton, strategia evolutiva di modificazione della rete ad area minima. *Sintesi di processi di separazione*. Criteri euristici di largo utilizzo; metodi diretti: programmazione dinamica e «branch and bound». Sistemi di separazione con integrazioni energetiche.

Parte III. Analisi dei rischi. Evento critico (TOP EVENT), eventi base e fault-tree. Analisi qualitativa del fault-tree tramite un algoritmo di ricerca dei minimi «cutsets». Cenni di teoria dell'affidabilità per il calcolo di probabilità di guasto dei componenti riparabili e non. Probabilità del TOP EVENT. Elementi per la sintesi automatica di un fault-tree.

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.

D.F. RUDD, G.J. POWERS, J.J. SIIROLA, *Process synthesis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.Y., 1973.

G. APOSTOLAKIS, S. GARRIBA, G. VOLTA (a cura di), *Synthesis and analysis methods for safety and reliability studies*, Plenum Press, N.Y., 1980.

Esame orale.

Propedeuticità consigliate: Impianti Chimici, Chimica Industriale.

6462
CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE (per Chimici e Meccanici)
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 sparsi 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.

1360-1359
CHIMICA (per Chimici e Nucleari)
Docente: **Piero Manaresi** prof. ord.

Programma

Struttura atomica — Le particelle costitutive dell'atomo - Grandezza e massa degli atomi - Isotopi - Peso atomico relativo - Il nucleo: numero di massa e numero atomico - Difetto di massa - Stabilità ed instabilità nucleare - Radioattività e velocità di disintegrazione - Struttura elettronica dell'atomo di idrogeno: il principio di indeterminazione - La funzione d'onda ed il suo significato - Numeri quantici ed orbitali; livelli energetici per l'atomo di idrogeno - Orbitali atomici in atomi con più elettroni - Distribuzione degli elettroni negli atomi: occupazione progressiva degli orbitali - Sistema periodico degli elementi e variazione periodica delle proprietà.

Legame chimico — Il legame ionico - Il legame covalente; orbitali molecolari - Legame polarizzato - Geometria molecolare ed orbitali ibridi - Legami multipli - Risonanza - Legame di coordinazione - Legame metallico - Legami deboli tra le molecole.

Reazioni chimiche ed equilibrio — Formule chimiche - Calcoli stechiometrici - Le reazioni di ossidoriduzione - 1° principio della termodinamica ed energie in gioco nelle reazioni - Entalpie standard e calcoli termochimici - Probabilità termodinamica di stato ed entropia - Energia libera e condizioni di spontaneità di una reazione; equilibrio chimico - Influenza della temperatura sulla costante di equilibrio - Spostamento dell'equilibrio per

variazioni di concentrazione o di pressione - Equilibri eterogenei - Cenni sui sistemi non ideali - Equilibri ionici in soluzione acquosa: autoprotolisi dell'acqua, pH, acidi, basi e sali - Idrolisi dei sali, elettroliti anfoteri, soluzioni tampone, indicatori - Prodotto di solubilità - Elettrochimica: potenziali elettrodici, pile, equazione di Nernst - Serie dei potenziali standard - Corrosione elettrochimica - Conducibilità elettrica delle soluzioni ed elettrolisi: le leggi di Faraday - Cinetica chimica: la velocità di una reazione e l'equazione cinetica - Reazioni elementari e reazioni in più stadi - Influenza della temperatura sulla velocità di reazione; il complesso attivato e la teoria delle collisioni - Catalisi omogenea ed eterogenea.

Gli stati di aggregazione della materia — Equazione di stato dei gas perfetti ed equazione di Van der Waals per i gas reali - Proprietà fisiche dei liquidi; tensione di vapore - Composizione delle soluzioni - Soluzioni liquide ideali: proprietà colligative e leggi di Raoult - Solidi cristallini e tipi diversi di strutture: cristalli ionici, covalenti molecolari, covalenti atomici, metallici - Soluzioni solide - Equilibri tra fasi e regola delle fasi - Sistemi ad un componente ed equazione di Clausius-Clapeyron - Diagrammi di stato di sistemi ad uno e a due componenti.

Gli elementi chimici — Famiglie di elementi tipici: metalli alcalini ed alcalino-terrosi, elementi del terzo (B, Al), quarto (C, Si, Sn, Pb), quinto (N, P), sesto (O, S) e settimo (F, Cl) gruppo. Alcuni esempi nel caso di metalli di transizione. Cenni di chimica organica: idrocarburi; principali gruppi funzionali. Cenni di nomenclatura IUPAC.

Testi consigliati:

P. CHIORBOLI, *Fondamenti di chimica*, ed. UTET, Torino.
R.H. MAHAN, *Chimica generale e inorganica*, ed. Ambrosiana, Milano.

Esami: discussione orale di argomenti svolti nel corso, preceduta, nel caso degli allievi di Ingegneria chimica, da una prova scritta consistente in esercizi e calcoli nume- rici (stechiometria, leggi di Faraday, termochimica, equilibri in fase gassosa, equilibri ionici in soluzione).

6792
CHIMICA APPLICATA (per Chimici)
Docente: **Luciano Pentimalli** prof. ord.

Nella prima parte vengono riprese le leggi generali della Chimica e applicate a problemi reali di *stechiometria*, alle miscele gassose, alle soluzioni, ai processi di combustione, come introduzione alla termodinamica chimica e ai bilanci di sistemi aperti. Vengono ripresi e ampliati i concetti di sistema, fase, equilibrio nei sistemi eterogenei, con discussione dei modelli più comuni di diagrammi di stato, ad uno o più componenti.

La seconda parte sviluppa argomenti tradizionali, concernenti materiali e servizi per l'industria chimica.

Programma

Stechiometria applicata. Unità di misura e calcoli numerici. Scelta della base del calcolo. Concentrazioni delle soluzioni. Applicazioni delle leggi dei gas. Relazioni stechiometriche nelle reazioni chimiche, bilanci di materia. Equilibri chimici, costanti di equilibrio, grado di avanzamento di una reazione, calore di reazione.

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, princip di termochimica, calore di reazione e calore di combustione, potere calorifico, bilanci di materia e bilanci termici. *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.

Il Corso è integrato da esercitazioni numeriche e pratiche.

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. Per la parte di Stechiometria, v.a.:

HOUGHEN, WATSON, RAGATZ, *Princip dei processi chimici*, vol. I, Ed. Ambrosiana;
BRESCHI-MASSAGLI, *Stechiometria*, Ed. Pellegrini;
NYLEN, WIGREN, *Stechiometria*, Ed. Cedam.

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: diagrammi 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 grandezze 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:

HARWEY, *Pressure Vessel Design*, Van Nostrand.
TIMOSHENKO, WOINOWSKY, KRIGER, *Theory of Plates and Shells*, McGraw-Hill.
Norme ASME; Norme ANCC.
Durante lo svolgimento del corso verranno redatte Dispense.

Propedeuticità consigliate: Scienza delle Costruzioni, Meccanica applicata alle macchine (o equivalente), Impianti chimici.

Esami orali.

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.

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.

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: **Gabriele Pasquali** prof. ass. (inc.)

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 condi-

zioni 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.

2021
METALLURGIA E METALLOGRAFIA
Docente: **Giorgio Poli** prof. ass.

Finalità del corso

Studio dei materiali metallici e del loro comportamento in esercizio. Definizione dei criteri di scelta dei metalli per l'industria chimica.

Programma

1) Cenni di metallurgia estrattiva.
Richiami di chimica-fisica con particolare riguardo alle applicazioni in campo metal-

lurgico. Termodinamica dei processi metallurgici: il caso della siderurgia. Cenni alla metallurgia estrattiva di alluminio, rame e titanio. Produzione di polveri metalliche e sinterizzazione.

2) Cenni di metallurgia fisica.

Caratteristiche dei metalli allo stato liquido. Passaggio di stato liquido-solido. I solidi metallici con cenni di cristallografia. Stato difettivo dei metalli. Cenni sulle proprietà termiche, elettriche e magnetiche dei metalli.

3) Metallurgia applicata.

Resistenza meccanica dei metalli: deformazione elastica e plastica; incrudimento; frattura. Prove normalizzate per la valutazione della resistenza meccanica dei metalli. Comportamento dei metalli in condizioni operative particolari: fenomeni di scorrimento viscoso, fatica, infragilimento.

Resistenza chimica dei metalli: termodinamica della corrosione. Fenomenologia e morfologia della corrosione. Prove normalizzate per la valutazione della resistenza alla corrosione. Prevenzione della corrosione.

I metalli ferrosi: diagramma Fe-C. Designazione convenzionale degli acciai. Classi di acciai in funzione dell'uso. Le ghise. Cenni sulla normativa per i metalli non ferrosi: rame e sue leghe; alluminio e sue leghe.

Rinforzo dei metalli: trattamenti termici; trattamenti termochimici di diffusione; rinforzo per dispersione; compositi metallici.

4) Criteri di scelta dei materiali metallici.

Principi basilari della meccanica della frattura. I nuovi parametri nella valutazione delle caratteristiche dei metalli: fattore di intensificazione degli sforzi; velocità di propagazione delle cricche. Le moderne tecniche di progettazione applicate all'industria chimica. La scelta dei metalli con esempi. Controllo dei metalli in esercizio. Le tecniche di controllo non distruttivo: caratteristiche e criteri di scelta.

5) Metallografia.

Principi teorici ed applicazioni pratiche delle seguenti tecniche analitiche: microscopia ottica, elettronica e SEM; diffrazione di raggi X; microanalisi EDS e WDS; sclerometria. Esame in laboratorio e con le tecniche suddette di campioni metallografici.

Testi consigliati:

W. NICODEMI, *Metallurgia*, Masson, 1986.
D. SINIGAGLIA, A. CIGADA, G. RE, *Metallurgia*, Voll. 1 e 2, 1984.

Propedeuticità consigliate: Chimica fisica; Chimica applicata.

Tesi: Sono disponibili tesi sperimentali sullo studio, la caratterizzazione chimica, fisica e meccanica e le applicazioni industriali di nuovi metalli.

814
PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA
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. *L'impianto chimico come sistema*
2.1. Approccio generale: definizioni, ipotesi, variabili, equazioni.
2.2. 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.
2.3. Rappresentazione schematica degli impianti chimici: schemi a blocchi (semplici e quantificati); grafi; matrici di vicinanza; diagrammi a fiume; schemi di processo.

3. *L'impianto chimico come sistema di «scatole nere»*
3.1. L'equazione integrale di bilancio di una proprietà estensiva: termini di accumulazione, convettivi, generativi e di flusso superficiale; base di bilancio.
3.2. Bilanci di materia per un apparato: varie forme dell'equazione; il termine generativo; cambiamento della base di bilancio; applicazioni.
3.3. Bilancio di quantità di moto per un apparato: equazione; applicazioni.
3.4. 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.
3.5. Bilancio di entropia: equazione; exergia; lavoro massimo; analisi delle cause di degradazione dell'energia; rendimenti intrinseco, pratico e totale di un processo; applicazioni.
3.6. 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.

4. *Apparati e stadi*

4.1. Bilanci di materia e di entalpia per processi stazionari; numero di variabili indipendenti e specifica base; curve di lavoro; metodi di soluzione; applicazioni.

4.2. 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.

4.3. 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.

4.4. Stadi reali: cause di deviazione dall'idealità; rendimento di Murphree senza e con trascinamento; relazione di Colburn; rendimento globale; diagrammi di equilibrio pratico; applicazioni.

5. *Modelli fluidodinamici semplici*

5.1. Fase perfettamente miscelata: definizione, proprietà, esempi; distribuzione dei tempi di permanenza; bilanci di materia ed energia; applicazioni.

5.2. 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.

6. *Modelli tipo legge di Ohm per il trasporto interfacciale*

6.1. Considerazioni generali: interfacce tra fasi; densità di flusso interfacciale; coefficiente di trasporto interfacciale e forze motrici.

6.2. 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.

6.3. Trasporto di calore: ipotesi di equilibrio termico interfacciale; coefficiente di convezione; coefficiente globale di scambio termico; applicazioni.

6.4. Trasporto di materia: ipotesi di equilibrio interfacciale; coefficiente di trasporto; coefficiente globale di trasporto di materia.

7. *Modello di mezzo continuo (a più componenti)*

7.1. 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).

7.2. Equazioni di bilancio locale di materia, di quantità di moto e di energia (termica e meccanica).

7.3. 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.

7.4. 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.

8. *Modelli matematici dei processi di trasporto*

8.1. 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.

8.2. 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.

8.3. 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.

8.4. 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.

9. *Apparati a contatto continuo*

9.1. 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.

9.2. 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.

10. *Applicazioni a specifici apparati e processi*

10.1. Adsorbimento, assorbimento, concentrazione, distillazione, estrazione, processi di di membrana.

10.2. Combustione.

10.3. Compressione dei fluidi.

10.4. Processi produttivi.

10.5. Reattori chimici, biochimici ed elettrochimici.

Principali testi di riferimento:

FORABOSCHI F.P., *Principi di ingegneria chimica*, UTET, Torino, 1973.

FORABOSCHI F.P., *Testi e soluzioni delle prove scritte d'esame di principi di ingegneria chimica*, CLUEB, Bologna, 1977.

BARBA D., *Calcolo elettronico nell'ingegneria chimica*, Siderea, Roma, 1982.

BIRD R.B., STEWARD W.E., LIGHTFOOT E.N., *Fenomeni di trasporto*, C.E.A., Milano, 1970.
HOUGHEN O.A., WATSON K.M., REGATZ R.R., *Principi dei processi chimici*, Vol. I e II, Ambrosiana, Milano, 1967.
LELLI U., *Il bilancio energetico*, Zanichelli, Bologna, 1958.
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.

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.

5802
PROPRIETA TERMODINAMICHE E DI TRASPORTO
Docente: **Giulio Cesare Sarti** prof. straord.

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 elementi della Scienza dei Materiali necessari per una trattazione unitaria dei processi tecnologici e delle modalità di impiego dei materiali di interesse ingegneristico.

Programma

Classificazione dei materiali. Materiali monocristallini, policristallini ed amorfi. Materiali metallici, ceramici, polimerici e compositi. Proprietà generali e principali processi tecnologici di formatura.

Difetti strutturali dinamici e statici, di equilibrio e di non equilibrio. Difetti di punto, di linea, di superficie, di volume. Concentrazione dei difetti e proprietà dei materiali cristallini. Microstruttura e proprietà fisico-meccaniche dei materiali polifasici. Materiali compositi. Richiami sui diagrammi di stato. Soluzioni solide e proprietà dei materiali. 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, etc. Processi elementari di trasporto di materia nei solidi. Leggi di Fick. Effetto Kirkendall. Applicazioni tecnologiche. Diffusione nei materiali policristallini. Sinterizzazione e tecnologia delle polveri. Esempi ed applicazioni.

Proprietà meccaniche dei materiali. Elasticità lineare e non lineare. Plasticità e meccanismi della deformazione plastica nei metalli. Incrudimento, riassetto e ricristallizzazione nei metalli. Lavorazioni plastiche dei metalli. Comportamento meccanico dei materiali ceramici. Comportamento meccanico dei materiali polimerici. Proprietà meccaniche dei materiali compositi. Effetto della temperatura sulle proprietà meccaniche dei materiali. Viscoelasticità e processi elementari di scorrimento viscoso. Parametro di Larson-Miller. 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. Effetti dell'ambiente sui materiali. Esempi ed applicazioni.

Cenni alle proprietà elettriche dei materiali: conduttori, semiconduttori, isolanti.

Criteri generali di scelta dei materiali in relazione alle condizioni di impiego. Sicurezza, affidabilità, progettazione e tecnologia. Tecnica delle prove di affidabilità sui materiali. Scelta dei materiali per impieghi strutturali. Protezione dei materiali. Normativa e prove sui materiali.

Testi consigliati:

J. WULFF et al., *Struttura e proprietà dei materiali*, voll. 4, CEA, Milano, 1976.
A.G. GUY, *Introduction to Materials Science*, McGraw-Hill, 1975.

Propedeuticità consigliate: Chimica applicata, Chimica fisica, Scienza delle costruzioni.

Sono previste *esercitazioni* in aula su applicazioni numeriche relative agli argomenti trattati ed in laboratorio sulla determinazione sperimentale di alcune proprietà dei materiali.

Esame orale.

Tesi di laurea: Proprietà elettriche, meccaniche e microstruttura di materiali polimerici, ceramici e compositi. Proprietà ed applicazioni di materiali speciali. Processi tecnologici e produttivi di materiali di interesse tecnico.

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 frequentemente 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.

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: **Franco P. Foraboschi** prof. ord. (inc.)

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; programma-

zione 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.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MINERARIA 2005

Programmi delle materie di insegnamento

Per le seguenti materie:

1349 Analisi matematica I
1353 Analisi matematica II
1366 Fisica I
1370 Fisica II
1374 Geometria
1378 Meccanica razionale

4125 Consolidamento dei terreni
4131 Difesa e conservazione del suolo
430 Fisica tecnica
2007 Geotecnica (sem.)
490 Idraulica
496 Idrologia e idrografia
1026 Tecnica delle costruzioni
2008 Tecnica delle fondazioni (sem.)
v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile

1358 Chimica
3781 Disegno II
v. Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

1363 Disegno
275 Elettrotecnica
663 Macchine
1385 Meccanica applicata alle macchine
6801 Scienza delle costruzioni
6529 Tecnologia chimica del disinquinamento
v. Corso di Laurea in Ingegneria Chimica

54
ARTE MINERARIA
Docente: **Paolo Berry** prof. straord.

Il corso si propone di delineare i principi di base e di fornire le conoscenze tecniche per la coltivazione dei giacimenti minerari. Collocato nell'ambito che intercorre tra la scoperta del giacimento e l'utilizzazione del grezzo, tratta i temi della impostazione generale delle miniere e delle cave, delle loro strutture statiche, delle operazioni inerenti il ciclo estrattivo.

Programma

La stabilità delle strutture minerarie. Criteri generali per la stabilità delle strutture in roccia. La stabilità delle gallerie e dei pozzi. La stabilità dei grandi scavi sotterranei di coltivazione. La teoria del sostegno. La subsidenza mineraria. La stabilità delle coltivazioni a cielo aperto.

Le operazioni minerarie. Le opere di sostegno: armature e rivestimenti. Le armature rigide e deformabili. Armature di legno, ferro, miste. Il bullonaggio delle rocce. I rivestimenti in muratura di mattoni, in calcestruzzo, in ferro. Il trattamento dei vuoti: ripiena e scoscendimento. L'abbattimento delle rocce. L'abbattimento in sotterraneo senza uso di esplosivo: martello piccone, tagliatrici, macchine a scavo integrale. Abbattimento con esplosivi. La perforazione: il martello perforatore e la perforatrice a rotazione. Gli esplosivi, gli artifizi da mina. Teoria dell'abbattimento. Disposizione delle mine negli scavi. Lo sgombro dei cantieri. Lo scavo delle gallerie e dei pozzi. Organizzazione dello scavo di gallerie di sezione normale in rocce compatte e franose. Scavo di gallerie a grande sezione. Scavo di pozzi in rocce compatte. Metodi di scavo in rocce acquifere: congelazione, cementazione. Cenni sui servizi di miniera: trasporti, ventilazione, estrazione, eduzione.

La coltivazione delle miniere e delle cave. La ricerca mineraria: prospezione geologica, geofisica, geochimica, i lavori di esplorazione. Criteri generali e fattori determinanti l'organizzazione di una coltivazione. Le grandi preparazioni, i tracciamenti. I metodi di coltivazione con particolare riferimento alle miniere metallifere: per vuoti, con ripiena, con scoscendimento. Le coltivazioni delle miniere carbonifere. Le coltivazioni speciali. Le coltivazioni a giorno: metodi e organizzazione. La valutazione delle miniere. Le riserve. La campionatura.

Testi consigliati:

Dispense redatte dal docente.
VIDAL, *Exploitation des mines*, Dunod.
Mining Engineering Handbook, SME.

Propedeuticità consigliate: Meccanica delle rocce.

L'*esame* consta di una prova orale con richiami alle applicazioni pratiche svolte nelle esercitazioni.

Tesi di laurea: 1) Progetti relativi a miniere e cave; 2) Temi compilativi o di ricerca.

6462
CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE (per Minerari e Nucleari)
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 ordinarie; 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.

92
CHIMICA APPLICATA (per Minerari)
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.

Programma

La combustione ed i combustibili

Chimica-fisica della combustione. *I combustibili solidi: i carboni fossili* - classificazione e caratterizzazione chimico-fisica ed attitudinale. Processi di combustione industriale. Processi di gassificazione. Processi di liquefazione. Prodotti speciali ottenuti dal carbone: grafite per elettrodi, fibre di carbonio, carboni attivi).

Il petrolio. Richiami di chimica organica. 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, oli combustibili, oli e grassi lubrificanti, paraffina, bitumi, coke di petrolio.

Le acque

Caratterizzazione chimico-fisica. Acque naturali ed acque industriali di scarico. Requisiti qualitativi per le acque potabili, per le acque per caldaie e circuiti di raffreddamento, per le acque di scarico. I trattamenti e la depurazione delle acque. I fanghi di risulta dai processi di depurazione.

I prodotti ceramici

Generalità sulle materie prime ceramiche: argille, quarzo, feldspati, carbonati, etc. Caratterizzazione chimico-fisica ed attitudinale delle materie prime ceramiche. I ceramici per edilizia, per uso domestico, per l'industria (refrattari); i leganti; il vetro: materie prime, ciclo di fabbricazione, proprietà.

I metalli

Generalità sullo stato metallico e sulle proprietà dei metalli. Le materie prime ed i processi metallurgici. Ferro e sue leghe. Alluminio e sue leghe. Rame e sue leghe.

Gli esplosivi

Classificazione e caratteristiche.

Testi consigliati:

1) GIRELLI, *Trattato di Chimica Industriale ed Applicata*, Zanichelli, Bologna.

2) MARIANI, *Chimica Applicata e Industriale*, Un. Tip. Ed. Torinese.

Esami

L'esame consta di una prova orale.

9040

COMPLEMENTI DI ARTE MINERARIA

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.

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.

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.

454

GEOFISICA MINERARIA

Docente: **Daniele Postpischl** prof. ass.

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.

Finalità del corso:

Introdurre i concetti fondamentali per la conoscenza delle rocce e dei corpi geologici, con la descrizione degli ambienti e dei processi di formazione; fornire gli elementi per la lettura, la interpretazione e la compilazione delle più comuni «rappresentazioni» geologiche.

Programma

1) Generalità. Costituzione e struttura interna della Terra; la crosta terrestre; i processi petrogenetici. 2) I fenomeni magmatici. Plutonismo e plutoni; vulcanesimo; magmi e tipi strutturali della crosta. 3) I sedimenti. Origine, ciclo e classificazione dei sedimenti; ambienti di sedimentazione; proprietà e caratteri fisici e chimici dei sedimenti e delle rocce sedimentarie; tessiture e strutture; sistematica dei sedimenti. 4) Geologia strutturale. Proprietà meccaniche delle rocce; gli strati; le pieghe: nomenclatura; pieghe-faglie, coltri di ricoprimento, diapiri; associazioni di pieghe; le fratture; generalità, genesi e nomenclatura; associazioni di faglie e stili tettonici; orogenesi e teorie orogenetiche; trasgressioni e regressioni. 5) Geologia stratigrafica. Principi generali, facies e loro variazioni; unità lito-, bio- e cronostratigrafiche; rappresentazioni geologiche. 6) Geologia degli idrocarburi e dei carboni. 7) Le acque sotterranee. 8) Processi di geologia esogena. Le frane: caratteri generali e classificazione; effetti geologici delle frane.

Testi consigliati:

C. ELMI, *Appunti di Geologia*, Pitagora, 1970.
IPPOLITO, CITIVA, LUCINI, DE RISO, NICOTERA, *Geologia tecnica*, ISEDI, Milano, 1975.

Esami orali, con lettura di cartografie geologiche e riconoscimento di rocce.
Propedeuticità consigliata: Mineralogia e petrografia.

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. Di-

Università di Bologna BIBLIOTECA

stinguere 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 smistamento 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.

4135
IDROGEOLOGIA APPLICATA (semestrale)
Docente: **Dioscoride Vitali** prof. ass.

1. Ciclo dell'acqua
2. Caratteristiche delle acque
3. Elementi di geoidrogeologia; moto delle acque nelle falde confinate e non confinate, Prove in situ.
4. Le opere di captazione delle acque sotterranee
5. Criteri per l'utilizzazione razionale delle risorse idriche sotterranee
6. Le acque termominerali
7. Elementi di geotermia

4137
LEGISLAZIONE MINERARIA (semestrale)
Docente: **Giuseppe Caia** prof. ass.

Introduzione

Il diritto (norma e ordinamento giuridico).
Nozioni fondamentali del diritto pubblico (e del diritto privato).

Sezione I: *Diritto Minerario*

I beni minerari. Qualificazione e condizione giuridica dei beni minerari.

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 legge 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 legge 11 gennaio 1957, n. 6. La prospezione e la ricerca di idrocarburi. La concessione di coltivazione. La ricerca e la coltivazione nel mare territoriale e nella piattaforma continentale (l. 21 luglio 1967, n. 613).

Legislazione regionale sulle acque minerali e termali. Legislazione regionale sulle cave e torbiere. I piani delle cave. Regime dell'attività di cava: autorizzazioni e concessioni.

Le norme sulla polizia delle miniere e delle cave. Le norme di incentivazione per le attività estrattive.

La legge 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.

Sezione II: *Diritto dell'ambiente*

Nozione giuridica di ambiente. Norme costituzionali.

Ripartizione di competenze e legislazione in materia ambientale.

La normativa sulla tutela del paesaggio (dalla l. 29 giugno 1939, n. 1497 alla l. 8 agosto 1985, n. 431). I piani paesistici e le autorizzazioni per le opere da realizzare in zona sottoposta a vincolo.

Il regime giuridico delle acque pubbliche. Le derivazioni di acque pubbliche. La pianificazione della destinazione delle risorse idriche.

Le acque sotterranee.

Gli acquedotti e le opere idrauliche. Le bonifiche.

La difesa del suolo, le foreste, i territori montani e il vincolo idrogeologico. Tutela dell'ambiente dagli inquinamenti. Inquadramento giuridico.

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: la l. 10 maggio 1976, n. 319 e successive modifiche. I piani di risanamento delle acque. Regolamentazione degli scarichi (scarichi civili e scarichi industriali). Scarichi in mare. Legislazione regionale.

L'inquinamento del suolo: D.P.R. 10 settembre 1982, n. 915. Smaltimento. Rifiuti urbani, speciali, tossici e nocivi. Regime giuridico. I piani e le autorizzazioni. Cenni alla legislazione regionale.

L'inquinamento atmosferico: l. 13 luglio 1966, n. 615. Altri aspetti della tutela dell'ambiente dagli inquinamenti (ad es. l'inquinamento radioattivo, le piogge acide).

Testi consigliati:

1) Dispense.
2) F. Salvia, *L'inquinamento. Profili pubblicistici*, Cedam, Padova, 1984;

Si consiglia, inoltre, la lettura di:

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.

nonché la consultazione del:

4) Codice di urbanistica e ambiente, dell'ANCE-Edilstampa (Via Guattani 24, Roma), 1987.

690

MECCANICA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI

Docente: **Gian Luigi Chierici** prof. straord.

Scopo del corso è di fornire gli elementi di base per lo studio dei giacimenti di petrolio e di gas, per la progettazione del loro sviluppo e per la loro coltivazione razionale. A

completamento degli argomenti trattati, si suggerisce allo studente di seguire i corsi di Misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi e di Produzione e trasporto degli idrocarburi.

Programma

— I giacimenti di idrocarburi. Condizioni per l'esistenza di un giacimento di petrolio o di gas. Temperatura e pressione di giacimento.

— I fluidi di giacimento: loro composizione. Comportamento di fase dei sistemi di idrocarburi naturali nelle condizioni di giacimento. Parametri termodinamici degli idrocarburi e dell'acqua in giacimento.

— Le rocce serbatoio. Proprietà scalari, funzioni del posto: porosità, saturazione in fluidi, comprimibilità, bagnabilità e capillarità. Proprietà di trasporto: permeabilità.

— La valutazione delle riserve di olio e di gas. Dati di base per il calcolo delle riserve. Calcolo delle riserve con il metodo volumetrico: metodo deterministico e metodo probabilistico, o Monte Carlo. Classificazione dei giacimenti in base alle loro riserve.

— Il flusso radiale nei mezzi porosi: caso dei fluidi a bassa comprimibilità. Equazione di diffusività in variabili adimensionali. Evoluzione nel tempo delle condizioni di flusso. Soluzione dell'equazione di diffusività in coordinate radiali.

— L'interpretazione delle prove di produzione nei pozzi ad olio. Misura delle portate e delle pressioni. Il problema della non-univocità. Calcolo delle curve $P_D(t_D)$ per geometrie non circolari. Interpretazione delle curve di declino della pressione e di risalita della pressione. Tecnica alle derivate della pressione. Prove di interferenza, con traccianti chimici e con portate pulsate, per valutare la continuità inter-pozzo del giacimento.

— L'interpretazione delle prove di produzione nei pozzi a gas. Linearizzazione e soluzione dell'equazione di diffusività in flusso radiale. Soluzione dell'equqzione di diffusività per gas reali in regime di portata costante. Prove nei pozzi a gas con portate variabili. Isochronal testing in regime transitorio. Interpretazione delle risalite di pressione nei pozzi a gas.

— I logs di produzione: gradiomanometria, termometria differenziale, spinner. Logs in foro tubato per individuare l'avanzamento dei fluidi in strato: neutron log a doppia spaziatura, thermal decay time log, log carbonio/ossigeno.

— L'ingresso d'acqua nei giacimenti. Soluzione di Van Everdingen-Hurst per flusso non stazionario. Soluzione approssimata di Fetkovich per acquiferi di estensione limitata.

— L'analisi del comportamento dei giacimenti. Giacimenti di gas secco o a condensato in presenza di spinta d'acqua: equazione di bilancio di massa. Giacimenti di olio: meccanismi di produzione e relativi fattori di recupero. Forma generale dell'equazione di bilancio di massa per i giacimenti di olio e sue espressioni particolari per i vari meccanismi di spinta.

— Curve di declino della produzione e loro impiego nella previsione del comportamento futuro del giacimento e nel calcolo delle riserve.

— Lo spiazzamento immiscibile unidimensionale in mezzi porosi omogenei. Equazione del flusso frazionario e sue soluzioni secondo Buckley-Leverett e secondo Welge. La discontinuità di saturazione al fronte. L'influenza delle capillarità e delle gravità. Lo spiazzamento immiscibile in giacimento. Giacimenti stratificati. Andamento dei rapporti acqua/olio e gas/olio ai pozzi. Iniezione d'acqua periferica e distribuita all'interno del giacimento: patterns di pozzi. Iniezione di gas in condizioni stabilizzate per gravità.

— Elementi di simulazione del comportamento dei giacimenti mediante modelli numerici. Equazione di diffusività per flusso trifase tridimensionale. Classificazione dei vari tipi di modelli numerici. Esempi di applicazione a giacimenti reali.

— Processi di recupero assistito. Processi basati sul miglioramento del rapporto di mobilità. Processi basati sulla riduzione della tensione interfacciale. Prospettive economiche dei processi di recupero assistito.

Testi consigliati:

J.S. ARCHER, C.G. WALL, *Petroleum Engineering - Principles and Practice*, Graham & Trotman, Londra, 1986.

H. CRITCHLOW, *Modern Reservoir Engineering: a Simulation Approach*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1977.

L.P. DAKE, *Fundamentals of Reservoir Engineering*, Elsevier Scientific, Amsterdam, 1978.

J. LEE, *Well Testing*, Society of Petroleum Engineers, Textbook Series Vol. 1, Dallas, 1982.

H.C. SLIDER, *Worldwide Practical Petroleum Reservoir Engineering Methods*, Pennwell Books, Tulsa, 1983.

Il corso consiste in lezioni ed esercitazioni di calcolo, anche mediante calcolatore.

Propedeuticità consigliate: E' opportuno avere già seguito i Corsi di Fisica tecnica, Geologia, Geofisica mineraria, Giacimenti minerari.

Gli *esami* sono orali.

Le *tesi di laurea* hanno indirizzo pratico, con ricorso a programmi su calcolatore, e possono venire parzialmente svolte in collaborazione con una Società petrolifera di esplorazione e produzione.

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 delle rocce, 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 - 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 ciclo aperto e dei pendii naturali.

8 — Consolidamento delle rocce e dei terreni - La tecnica delle iniezioni - Drenaggi - 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:

1) Appunti del Docente.
2) S.D. WOODRUFF, *Working Coal and Metal Mines*, vol. I.
3) OBERT, DUVALL, *Rock Mechanics and the Design of structures in Rock*.
4) C. JAEGER, *Rock Mechanics and Engineering*.
5) M. PANET, *La mécanique des Roches appliquee aux ouvréges du genie civil*.

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.
MOTTANA, CRESPI, LIBORIO, *Minerali e Rocce*, Ed. Mondadori.

Esame orale.

731
MISURE E CONTROLLI NEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI

Docente: **Giulio Cesare Borgia** prof. ass.

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. Rendimento di una operazione di classificazione per dimensioni.

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 macinazione: i mulini impiegati per la macinazione delle rocce. Descrizione dei principali tipi di mulino. 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.

Principali macchine accessorie degli impianti di Preparazione dei minerali. Criteri di sicurezza sul lavoro negli impianti. Atmosfera degli ambienti di coltivazione in galleria ed a cielo aperto. La ventilazione: basi teoriche. Schemi di ventilazione. L'orifizio equivalente di una miniera in sotterraneo. Potenza assorbita dalla ventilazione. I ventilatori: loro funzionamento e disposizione.

L'eduzione delle acque dagli scavi e dalle miniere.

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 alcune *esercitazioni* di calcolo e laboratori dimostrativi, nonché eventuali accessi ad impianti.

Avendo il corso carattere tecnologico e finalità applicative, è consigliabile per accedervi l'acquisizione di nozioni di giacimentologia e di tecniche estrattive come pure della costruzione di macchine.

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.

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 particolare delineati i principi della produzione e la loro applicazione ai fini della massima efficienza del giacimento; vengono illustrate le tecniche produttive e trattate i principali aspetti del trasporto in condotta.

Programma

Aspetti tecnici ed economici della produzione degli idrocarburi. Il completamento 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.
AA.VV., *Il manuale delle acque sotterranee*, Ed. Geograph.
TORNAGHI, *Indagini geotecniche in situ*, Pubbl. Tecn. Rodio.
AGI, *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.*

A. KÉZDI, *Handbook of Soil Mechanics*, Vol. 2: Soil Testing, Elsevier.

Esami orali.
Propedeuticità consigliate: Geologia, Meccanica delle rocce, Fisica tecnica.
Tesi di Laurea: teoriche, sperimentali, di progetto.

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.
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.

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 meta-

morfiche. 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 2006

Programmi delle materie di insegnamento

1352
ANALISI MATEMATICA I

Docenti: **Pier Luigi Papini** prof. ass. (Elettronici A-D, Elettrotecnici)
Carlo Ravaglia prof. ass. (Elettronici E-O)
Franco Nardini prof. ass. (Elettronici P-Z)

Le finalità del corso sono principalmente le seguenti:
a) fornire alcuni strumenti matematici necessari per i corsi successivi;
b) insegnare un metodo di affronto della matematica, affinché lo studente sia in grado di apprendere le nozioni matematiche che gli saranno necessarie e che non sono svolte nel corso.

Programma

1. *Teoria degli insiemi.*
Teoria di Cantor. Algebra 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.

2. *Strutture algebriche.*
Semigruppi, monoidi, 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.

3. *Numeri reali.*
Campi ordinati completi: campo reale, insieme numerico ampliato. Rappresentazione b-adica. Funzione potenza, radice, esponenziale, logaritmica.

4. *Piano euclideo.*
Spazi vettoriali: sottospazi, generatori, sistemi liberi, base, trasformazioni lineari, isomorfismi, teorema dimensionale. Il piano euclideo $\mathbf{R}^2$: rappresentazione degli endomorfismi, proiezione ortogonale, riflessione, caratterizzazione delle isometrie che lasciano fissa l'origine, trasformazioni ortogonali, matrici ortogonali, rotazioni.

5. *Numeri complessi.*

Campo complesso: forma algebrica, argomento, funzioni trigonometriche, potenze, radici.

6. *Topologia.*

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.

7. *Limiti.*

Limite di una funzione: teoremi generali; 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.

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.

8. *Derivazione.*

Derivata, studio locale del grafico di f, applicazione lineare tangente (differenziale), vettori tangenti, cammini in $\mathbf{R}^n$.

Proprietà delle derivate, funzioni derivabili su intervalli, 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.

9. *Operatori lineari e integrazione.*

Spazio v.n. $\mathbf{B}(\mathbf{A},\mathbf{R})$ delle funzioni definite in A e a valori reali, limitate (norma del sup.): significato della convergenza in $\mathbf{B}$; sottospazio $\mathbf{S}$ delle funzioni a scala.

Convergenza puntuale ed uniforme di una successione di funzioni: convergenza uniforme e proprietà della funzione limite; derivazione termine a termine delle successioni di funzioni numeriche di variabile reale.

Operatori lineari continui tra spazi v.n. $\mathbf{E}$ ed $\mathbf{F}$; prolungamento degli operatori lineari continui sulla chiusura del sottospazio di definizione.

Integrale $\mathbf{I}$ delle funzioni a scala; $\mathbf{I}$ è un funzionale lineare continuo (e crescente) su $\mathbf{S}$.

Il prolungamento di $\mathbf{I}$ ad $\bar{\mathbf{S}}$: è ancora un funzionale lineare continuo su $\bar{\mathbf{S}}$.

Integrale di Riemann per funzioni limitate: il caso delle funzioni generalmente continue (e limitate); il teorema di Cauchy. Caratterizzazione delle funzioni limitate integrabili secondo Riemann, attraverso la misura dell'insieme dei punti di discontinuità.

Integrale definito.

Derivazione e integrazione: funzioni integrali, primitive, esistenza delle primitive per funzioni generalmente continue e limitate; integrazione per parti e per sostituzione.

Misura di Peano-Jordan: proprietà della famiglia degli insiemi misurabili; misurabilità di un insieme di $\mathbf{R}^n$ e misura della frontiera.

Integrali impropri.

10. *Serie.*

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. Serie di funzioni; serie di potenze.

Testi consigliati:

Dispense redatte a cura del docente.
A. ALVINO, G. TROMBETTI, *Matematica 1*, Liguori, Napoli.
G.C. BAROZZI, S. MATARASSO, *Analisi Matematica 1*, Zanichelli, Bologna.
J.P. CECCONI, G. STAMPACCHIA, *Analisi Matematica 1*, Liguori, Napoli.
E. GIUSTI, *Analisi Matematica 1*, Boringhieri, Torino.
B. DEMIDOVICH, *Esercizi e problemi di Analisi Matematica*, Ed. Riuniti, Roma.
E. LANCONELLI, E. OBRECHT, *Esercizi di Analisi Matematica*, Pitagora Bologna.

1356
ANALISI MATEMATICA II
Docenti: **Silvano Matarasso** prof. ord. (Elettronici A-D, Elettrotecnici)
Luigi Cerofolini prof. ass. (Elettronici E-O)
Fausto Segala prof. ass. (Elettronici P-Z)

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.

1679

AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE SANITARIA

Docente: **Gianni Gnudi** prof. ass.

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 ospedalieri.

Programma

Evoluzione dell'organizzazione sanitaria. Linee di tendenza della riforma sanitaria. Modellistica dei sistemi sanitari. Modello della popolazione, dell'incidenza, del com-

portamento e della malattia. Indici di qualità e di utilizzazione. Indicatori sanitari.

Elementi di teoria delle code e applicazione all'analisi e progetto di strutture sanitarie.

Sistemi informativi sanitari (S.I.S.). Definizione di sistema informativo e specificità di un S.I.S. Caratteristiche generali dei principali componenti di un S.I.S. in tempo reale. Modello centralizzato e distribuito. Cenno ad alcune realizzazioni significative.

Cartella clinica tradizionale e problemi relativi alla sua automazione.

Caratteristiche dei sistemi per l'archiviazione e la gestione dei dati clinici.

Acquisizione ed elaborazione di segnali biologici. Strumentazione di interfaccia cal colatore-paziente. Elementi di analisi e progetto di filtri numerici. Elementi di riconoscimento di configurazioni. Analisi automatica dell'elettrocardiogramma (ECG), dell'elettroencefalogramma (EEG) e di altri segnali di interesse biomedico.

Introduzione alla tomografia assistita da calcolatore (TAC).

Automazione di alcuni servizi ospedalieri: laboratorio di cateterismo cardiaco, unità di terapia intensiva e laboratorio di analisi cliniche.

Cenno ai problemi di diagnosi automatica.

Testi consigliati:

Dispense redatte a cura del docente.

3569
BIOAUTOMATICA
Docente: **Enzo Belardinelli** prof. ord.

Il corso di Bioautomatica si propone, nella prima parte, di fornire quelle conoscenze di carattere fisiologico essenziali per il bioingegnere. Il tipo di trattazione, peraltro, è profondamente diverso da quello seguito presso la Facoltà medica e biologica; si fa ampio uso, infatti, del metodo fisico-matematico, più congeniale alla mentalità dell'ingegnere.

Nella seconda parte del corso sono trattati i problemi della identificazione strettamente connessi ai problemi della modellistica matematica.

Programma

Gli argomenti trattati sono:
— Il muscolo scheletrico e cardiaco (caratteristiche funzionali e modelli matematici).
— Il sistema cardio circolatorio (caratteristiche funzionali e modelli matematici).
— Il sistema nervoso (id. id.).
— I modelli a compartimenti.
— Fondamenti di diagnostica automatica mediante uso di modelli.
— Metodi di identificazione funzionale e parametrica.

Testi consigliati:

Appunti distribuiti dal docente.

Esami: una prova scritta, seguita immediatamente, se superata, dalla prova orale.
Esercitazioni di tipo monografico con suddivisione in gruppi degli studenti.

9602
BIOMECCANICA E BIOMACCHINE
Docente: **Guido Avanzolini** prof. ord. (inc.)

Finalità

Scopo del corso è quello di dare una visione unificante dei fenomeni elastodinamici elementari, fornendo le nozioni di base per l'analisi delle proprietà meccaniche dei tessuti, e per lo studio dei principali sistemi biologici.

Partendo dalle equazioni di conservazione per i mezzi continui e dall'analisi delle modalità di comportamento di classi di materiali (equazioni costitutive), lo studente è posto in condizione di scrivere le equazioni di campo che sono alla base del sistema cardiovascolare, del sistema respiratorio, del sistema neuromuscolare e neurosensoriale.

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 delle nozioni di base dell'ingegneria ai materiali e sistemi biologici.
2. Il significato dell'equazione costitutiva.
   2.1 Tensioni, spostamenti e deformazioni.
   2.2 Bilancio di materia ed energia nei mezzi continui.
   2.3 Equazioni costitutive per solidi e fluidi: Fluidi non viscosi, fluidi Newtoniani, solidi elastici (legge di Hooke).
   2.4 Viscoelasticità: Modello di J.C. Maxwell, W. Voigt e Kelvin (solido lineare standard).
3. Analisi delle tensioni nei tessuti biologici.
   3.1 Tessuti ossei.
   3.2 Tessuti molli.
   3.3 Tecniche specifiche di misura.
4. Meccanica di base del sistema cardio-circolatorio.
   4.1 Principi fisici della circolazione.

4.2 La funzione di pompa del cuore.
4.3 Le principali tecniche di misura.
5. Meccanica di base del sistema respiratorio.
5.1 Principi fisici della respirazione.
5.2 La meccanica polmonare.
6. Il sistema neuromuscolare.
6.1 Proprietà contrattili del muscolo scheletrico.
6.2 Proprietà contrattili della muscolatura liscia.
7. Meccanica di base del sistema neurosensoriale.
7.1 I meccanorecettori.
7.2 Meccanica dell'apparato uditivo.
8. Introduzione ai principi di funzionamento delle principali apparecchiature di supporto alle funzioni cardiocircolatorie e respiratorie.

3716
CALCOLATORI ELETTRONICI
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

Introduzione e brevi richiami sulle modalità di gestione di un sistema di calcolo. Sistemi multiprogrammati, time-sharing, in tempo reale. Proprietà e funzioni principali di un Sistema Operativo. Processi concorrenti: definizione di un processo sequenziale, cooperazione tra processi, il supporto a tempo di esecuzione di un sistema a processi. Primitive di sincronizzazione e scambio messaggi, blocco dei processi (deadlock). Algoritmi per gestione della unità di elaborazione centrale. Gestione della memoria: memoria virtuale, tecniche di realizzazione della memoria virtuale. Gestione dei dispositivi di ingresso-uscita. Gestione degli archivi: file system. Modelli per la comunicazione dei processi: memoria globale a scambio di messaggio, chiamata di procedura remota. Costrutti linguistici per esprimere la concorrenza nei singoli modelli.

Comandi con guardia. Esempi di linguaggi per la programmazione concorrente per ciascun modello. Azioni atomiche. Sistemi distribuiti: proprietà fondamentali.

Il sistema operativo UNIX.

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.

5698

CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI I

Docenti: **Giancarlo Corazza** prof. ord. (Elettronici A-D)
Gabriele Falciasecca prof. ord. (Elettronici E-O)
Vittorio Rizzoli prof. ord. (Elettronici P-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.

Le *Tesi di laurea* sono assegnate solo a studenti dell'indirizzo Telecomunicazioni.

5699

CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI II

Docente: **Maurizio Zoboli** prof. ass.

Il corso si propone di approfondire le conoscenze sulla propagazione in mezzi non omogenei, con particolare riguardo ad un canale trasmissivo in fibra ottica, particolarmente importante nelle applicazioni. Vengono esaminati da un punto di vista elettromagnetico gli elementi principali costituenti il canale stesso: il mezzo trasmissivo, le sorgenti, i rivelatori.

(a) Onde piane: spettri di onde piane; cenni di ottica di Fourier; diffrazione.

(b) Il mezzo trasmissivo: analisi elettromagnetica di guide dielettriche a brusco salto dell'indice di rifrazione. Approssimazione per piccoli scarti dell'indice di rifrazione. Interpretazione dei modi guidati in termini di raggi complessi. Eccitazione trasversa della guida. Guide a profilo graduale dell'indice di rifrazione: analisi approssimate con tecnica del WKB. Scelta del profilo ottimo al fine dell'equalizzazione dei ritardi di gruppo. Inviluppi complessi. Definizione della funzione di trasferimento, in banda base, di una fibra ottica.

(c) Sorgenti di radiazione: campi quasi monocromatici. Funzione di correlazione di campi quasi monocromatici. Coerenza della radiazione. Tempo di coerenza e larghezza spettrale. Sorgente di radiazione coerente e incoerente. Cenni sui diodi laser e su i diodi elettroluminescenti. Cenni sulle grandezze radiometriche.

(d) Rivelatori: aspetti statistici del processo di rivelazione. Il rumore quantico. Il processo di moltiplicazione a valanga. Cenni sulla statistica del processo di rivelazione a valanga. Il rivelatore ottico come demodulatore quadratico.

(e) Il canale trasmissivo: canale trasmissivo limitato per attenuazione. Effetti del rumore quadratico, di moltiplicazione a valanga e gaussiano ai fini del tasso di errore nel caso di trasmissione numerica. Canale trasmissivo limitato in banda. Il problema dell'equalizzazione in banda base. Esempio di progetto di un canale di trasmissione in fibra ottica.

Testi consigliati:

Dispense redatte dal docente.

Propedeuticità consigliate: Campi Elettromagnetici e Circuiti I, Comunicazioni Elettriche I.

1361
CHIMICA
Docenti: **Flavio Zignani** prof. ord. (Elettronici A-K)
Corrado Berti prof. ass. (Elettronici L-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.

6465
CHIMICA FISICA (per Elettronici)
Docente: **Agostino Desalvo** prof. ass.

Il corso si propone di fare acquisire i fondamenti di meccanica quantistica e di meccanica statistica necessari per lo studio della fisica dei semiconduttori nei corsi successivi

dell'indirizzo di microelettronica. Il corso include applicazioni della teoria ad alcuni problemi fondamentali di struttura della materia, come il legame chimico nelle molecole e nei solidi.

Programma

1) *Relatività ristretta*: Le trasformazioni di Lorentz. La meccanica relativistica. Equivalenza fra massa e energia.

2) *Meccanica quantistica*: Origine della teoria quantistica: Problema del corpo nero e ipotesi di Planck. Il fotone: effetto fotoelettrico e effetto Compton. Modello atomico di Bohr. Onde di De Broglie e pacchetti d'onde. La diffrazione degli elettroni. Principio di indeterminazione. L'equazione di Schrodinger. Principio di sovrapposizione degli stati. L'equazione temporale di Schrodinger. Metodi generali della Meccanica Quantistica: grandezze fisiche e operatori. Compatibilità delle misure simultanee di più grandezze fisiche. Valori medi e teorema di Ehrenfest. Operatore Hamiltoniano di una particella carica in un campo elettromagnetico variabile. Approssimazione semiclassica per la teoria della radiazione. Soluzioni dell'equazione di Schrodinger: barriera di potenziale ed effetto tunnel, buca di potenziale, oscillatore lineare armonico. Il momento angolare. Gli atomi idrogenoidi. Spin dell'elettrone: teoria di Pauli. Teoria delle perturbazioni. Metodo variazionale. Equazioni di Hartree. Principio di esclusione. Sistema periodico degli elementi. Atomo di elio ed effetti di scambio. Teoria delle collisioni: approssimazione di Born. Separazione dei moti degli elettroni e dei nuclei nelle molecole e nei solidi. La molecola di idrogeno. Il potenziale periodico. Assorbimento ed emissione della radiazione elettromagnetica.

3) *Meccanica statistica*: Definizione statistica dell'entropia. Funzione di partizione: relazione tra grandezze termodinamiche e grandezze statistiche. Distribuzione di Fermi-Dirac e di Bose-Einstein. Limite classico di Boltzmann.

Testi consigliati:

E. De Castro, *Fondamenti di elettronica: fisica elettronica ed elementi di teoria dei dispositivi*, UTET.

Esame orale.

9241
COMPLEMENTI DI MACCHINE ELETTRICHE (per Elettronici)
Docente: **Carla Tassoni** 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.

189

COMPLEMENTI DI MATEMATICHE

Docenti: **Giulio Cesare Barozzi** prof. ord. (Elettronici A-K)
Nicola Garofalo prof. ass. (Elettronici L-Z)

Finalità del corso

Fornire agli studenti gli strumenti matematici per seguire i corsi relativi alla laurea in Ingegneria Elettronica.

Programma

Funzioni di una variabile complessa

Richiami sul campo complesso. Derivazione; funzioni analitiche; le condizioni di Cauchy-Riemann. Interpretazione geometrica dell'analiticità; cenno sulle rappresentazioni con-

formi. Integrazione in campo complesso: il teorema integrale; la formula integrale di Cauchy. Richiami sulle serie di potenze. Sviluppo di una funzione analitica in serie di potenze (serie di Taylor); indefinita derivabilità delle funzioni analitiche; il teorema di Morera. Zeri delle funzioni analitiche e loro proprietà. Diseguaglianze per i coefficienti dello sviluppo in serie di Taylor. Il caso delle funzioni intere; il teorema di Liouville, il teorema fondamentale dell'algebra. Sviluppo di una funzione analitica in serie bilatera di potenza (serie di Laurent). Punti singolari isolati e loro classificazione. Singolarità all'infinito. Residui; calcolo del residuo di un polo. Il teorema dei residui; il teorema dell'indice logaritmico. Calcolo di integrali col metodo dei residui; il lemma di Jordan.

Richiami di Algebra lineare

Spazi e sottospazi vettoriali. Basi e dimensione. Spazi con prodotto scalare. Famiglie ortogonali e ortonormali. Il problema lineare dei minimi quadrati. Autovalori e autovettori.

Trasformata di Lapace

Definizione e prime proprietà della L.T. Segnali di ordine esponenziale; ascissa di convergenza. Analiticità della L.T. Trasformata dei segnali periodici; trasformata della derivata e dell'integrale. Il teorema del valor finale, il teorema del valore iniziale. L.T. della convoluzione di due segnali. Applicazione della L.T. allo studio delle equazioni differenziali ordinarie. Inversione della L.T.; il caso delle funzioni razionali fratte.

Analisi di Fourier

Serie di F.; varie forme delle serie di F.; spettro di ampiezza e spettro di fase. Rappresentazione mediante il nucleo di Dirichlet; condizioni per la convergenza puntuale delle serie di F. Serie di F. in forma complessa. L'identità di Parseval. La trasformata di F.; definizione e proprietà. Il problema dell'inversione della F.T.; connessione tra L.T. e F.T.

Testi consigliati:

A.G. SVESNIKOV, A.N. TICHONOV, *Teoria delle funzioni di una variabile complessa*, Editori Riuniti (1984);

G.C. BAROZZI, *Appunti dal corso di Complementi di Matematiche*, Pitagora Editrice (1982).

Gli *esami* constano di una prova scritta e di una prova orale.

Propedeuticità consigliata: Calcolo numerico e programmazione.

4179

COMUNICAZIONI ELETTRICHE I

Docenti: **Leonardo Calandrino**, prof. ord. (Elettronici III anno)
Gianni Immovilli, prof. ord. (Elettronici IV anno)

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 I*, Pitagora Ed., Bologna.

Esami scritti e orali.

Propedeuticità consigliate.
Elettrotecnica I, Complementi di matematiche.

5700
COMUNICAZIONI ELETTRICHE II
Docente: **Giorgio Corazza** prof. straord.

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, funzioni svolte, servizi offerti. Dimensioni della rete, del mercato e dell'utenza. Conseguenze tecni co-economiche. Organismi internazionali di coordinamento.

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.

Commutazione di circuito — Cenni storici sulle centrali telefoniche: centrali manuali, centrali elettromeccaniche, centrali controllate elettronicamente. Segnalazione associata al circuito. Rete telefonica, piani regolatori. Commutazione elettronica numerica: reti di connessione a divisione di tempo PAM e PCM. Segnalazione a canale comune.

Commutazione di messaggio e di pacchetto — Reti di telematica: obiettivi e funzioni svolte. Architettura delle reti a strati. Modello di riferimento OSI a 7 strati. Protocolli e interfacce per i vari strati. Esempi di protocolli per reti pubbliche. Reti locali.

Rete numerica integrata nei servizi (ISDN) — Architetture per ISDN. Modello di riferimento per protocolli ISDN e sua relazione con quello OSI. Accessi standardizzati: accesso base, accesso primario. Sviluppi futuri: rete integrata a larga banda (IBCN).

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.
L. LENZINI, C. BOREGGI, *Reti per dati*, SARIN-Marsilio Editori.

Esami orali.
Propedeuticità consigliate: Comunicazioni elettriche I, Elettronica applicata II, Reti logiche, Sistemi per l'elaborazione dell'informazione.

3694
CONTROLLI AUTOMATICI I
Docenti: **Eugenio Sarti** prof. ord. (Elettronici A-K)
Gianni Bertoni prof. ord. (Elettronici L-Z)

Finalità del corso

Fornire agli studenti i concetti fondamentali del controllo a retroazione, le tecnologie e i metodi di progetto dei sistemi di controllo a un ingresso e una uscita, a partire dai principi e metodi della teoria dei sistemi.

Programma

Struttura dei sistemi di controllo. Parti componenti fondamentali. Controlli ad azione diretta e a retroazione. Significato ed effetti della retroazione.

Modellistica e identificazione. Tipi di modelli. Non linearietà e linearizzazione. Stima dei parametri.

Rappresentazione mediante le trasformate di Laplace. Matrici e funzioni di trasferimento. Relazioni con le rappresentazioni ingresso-stato-uscita. Antitrasformazione. Stabilità. Condizioni e criteri di stabilità: metodo di Routh-Hurwitz. Combinazione di funzioni di trasferimento.

Risposte nel dominio dei tempi. Risposte impulsive e a gradino. Loro dipendenza dai poli. Sistemi a poli dominanti. Indagine della posizione dei poli: luogo delle radici. Stima dei parametri della risposta a gradino.

Sintesi nel dominio dei tempi. Specifiche nel dominio dei tempi. Loro relazione con la posizione dei poli. Assegnamento dei poli. Stima dello stato. Controllo integrale.

Analisi nel dominio delle frequenze. Risposta frequenziale. Teorema della risposta frequenziale. Rappresentazione logaritmica e polare. Criterio di Nyquist e margini di stabilità. Identificazione dalla risposta frequenziale.

Sintesi nel dominio delle frequenze. Specifiche. Loro relazione con le specifiche nel dominio dei tempi. Reti correttrici. Regolatori standard. Controllori digitali. Confronto fra i diversi metodi di sintesi.

Sistemi non lineari. Linearizzazione armonica. Metodo di Popov. Sistemi a relè.

Controllo a catena aperta. Tecniche di cancellazione. Feedforward. Compensazione dei disturbi misurabili.

Componenti e sistemi. Esempi di trasduttori, amplificatori e attuatori. Azionamenti in corrente continua e alternata.

Testi consigliati:

G. MARRO, *Controlli Automatici*, Zanichelli, Bologna 1987.
A. LEPSCHY, U. VIARO, *Guida allo studio dei controlli automatici*, Pàtron, Bologna 1983.
Appunti integrativi distribuiti dai docenti.

Esame: orale, con uso facoltativo del calcolatore.

Esercitazioni: in aula e al calcolatore, su componenti e su metodi di analisi e sintesi.

Propedeuticità consigliate: Complementi di matematiche, Elettronica applicata I, Teoria dei sistemi.

3695
CONTROLLI AUTOMATICI II
Docente: **Marco Tibaldi** prof. ass.

Finalità del corso:

Il corso affronta il problema della sintesi di dispositivi di controllo per sistemi dinamici a più ingressi e più uscite (MIMO) sia in ambiente deterministico (cioè nel caso in cui il sistema da controllare e le misure disponibili siano sostanzialmente esenti da disturbi) sia in ambiente stocastico (cioè quando ingressi e misure presentino componenti non trascurabili di tipo aleatorio).

Programma

1) Il controllo ottimo in catena aperta.
Richiami di programmazione matematica e di calcolo delle variazioni. La teoria di Eulero-Lagrange. Il principio del minimo di Pontryagin. Il controllo bang-bang.
2) Il controllo ottimo in retroazione.
2.a) Regolazione LQ a tempo finito. inseguimento LQ. Regolazione LQ a tempo infinito. Regolatore stazionario. Controllo integrale.
2.b) Il problema della stima asintotica dello stato in ambiente deterministico. Dispositivi osservatori.
2.c) Il problema dell'assegnamento dei poli ad un sistema dinamico. Relazioni fra assegnabilità dei poli e controllabilità/ricostruibilità. Proprietà di un sistema dinamico chiuso in retroazione tramite un dispositivo osservatore.
2.d) Regolazione LQG. Il problema della stima ottima dello stato in ambiente stocastico. Modelli matematici di processi stocastici. Il filtro di Kalman. Dualità fra controllo ottima e stima ottima.
2.e) Dispositivi di controllo di ordine dinamico limitato. Riduzione dell'ordine dina-

mico di un modello matematico. Spillovers e compensazione algebrica.
3) Controllo di strutture meccaniche flessibili.

Modelli a parametri distribuiti. Controllo di assetto, controllo di forma e controllo delle vibrazioni. Attuatori infrastrutturali, inerziali e ambientali. Tecniche frequenziali di progetto.

Testi consigliati:

Dispense redatte dal docente.

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.

1364-1365
DISEGNO (per Elettrotecnici, Chimici, Minerari, Elettronici, Nucleari)
Docente: **Umberto Meneghetti** prof. ord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica)

251
ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (per Elettronici)
Docente: **Nino Luciani** prof. ass. (inc.)

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

I problemi d'ingegneria come problemi di scelta economica.

I problemi della matematica finanziaria. Il criterio di equivalenza finanziaria.

Metodologia della valutazione degli investimenti e dei finanziamenti, e della convenienza del rinnovo.

I fattori della produzione e gli elementi del costo di produzione. La contabilità aziendale ed il bilancio d'impresa.

Il deperimento e la sua contabilizzazione.

L'impresa e le sue diverse forme giuridiche. Il finanziamento del capitale proprio e di

credito delle imprese. Credito a breve, medio e lungo termine. L'assegno e le cambiali; loro funzione economica e loro regolamentazione giuridica comparata.

Elementi di diritto societario comparato. Le procedure concorsuali.

L'ordinamento bancario, elementi di tecnica bancaria, la regolazione del credito e la funzione della banca centrale.

La regolamentazione tributaria italiana. Influenza delle imposte sulla valutazione degli investimenti e dei finanziamenti e sulla convenienza del rinnovo.

Il catasto e gli altri registri pubblici.

Regolamentazione e costo del lavoro. Gli oneri sociali e la scala mobile.

Mercati e prezzi dei materiali. Indici dei prezzi e potere d'acquisto della moneta.

I contratti di compravendita e d'appalto, i documenti contrattuali, le modalità di pagamento e del controllo dell'esecuzione negli appalti di grandi lavori. I contratti di trasporto, l'assicurazione e la resa nei contratti mercantili.

La revisione dei prezzi contrattuali.

La contabilità nazionale: il conto delle risorse e degli impieghi ed il conto della formazione del capitale. I conti della pubblica amministrazione. Le matrici dell'economia.

Elementi di teoria della moneta. Il sistema monetario e la sua evoluzione recente. Il sistema monetario internazionale e quello europeo.

Testi consigliati:

D. ZANOBETTI, *Economia dell'ingegneria*, Patron.
ISTITUTO CENTRALE DI STATISTICA, *I conti degli italiani*.
F. GALGANO, *I. L'imprenditore, II. Il contratto di società di persone, III. La società per azioni, le altre società di capitali, le cooperative*, Zanichelli.

L'esame consiste di una prova scritta, concernente la valutazione d'un investimento o finanziamento od un problema di rinnovo, e di una prova orale.

6297
ELEMENTI DI INFORMATICA
Docenti: **Antonio Natali** prof. ass. (inc.) (Elettronici A-K)
Dario Maio prof. ass. (inc.) (Elettronici L-Z)

Finalità del corso:

Il corso intende fornire i concetti, le metodologie e gli strumenti fondamentali per la risoluzione dei problemi mediante elaboratore elettronico. L'obiettivo è quindi centrato sul progetto e la analisi di algoritmi, sulle metodologie per la codifica degli algoritmi mediante linguaggi di programmazione ad alto livello e sulle tecniche per lo sviluppo e la verifica dei programmi.

Programma

1. *Descrizione funzionale di un elaboratore elettronico*
Viene presentata la organizzazione architetturale di un elaboratore e le funzioni fondamentali da esso svolte, unitamente agli elementi essenziali per la rappresentazione di informazioni in codice binario.

2. *Il concetto di algoritmo e la analisi dei problemi*
Vengono introdotti alcuni elementi di teoria della computabilità allo scopo di pervenire ad una definizione formale di procedura di calcolo ed alla distinzione tra problemi computabili e no. Vengono inoltre studiate le proprietà che rendono conveniente la soluzione di un problema mediante elaboratore.

3. *Progetto ed analisi di algoritmi*
Vengono presentate alcune tecniche fondamentali per la definizione e manipolazione di strutture di dati, per la ricerca e l'ordinamento di informazioni e per la risoluzione di problemi di natura numerica, unitamente ai concetti fondamentali per la verifica di correttezza degli algoritmi e per la analisi delle loro prestazioni.

4. *Progetto ed analisi di programmi*
Vengono introdotti i concetti fondamentali della programmazione strutturata (tipo di dato, strutture di controllo, sviluppo di un programma per passi di raffinamento successivi, etc.). Vengono inoltre studiate approfonditamente le caratteristiche del linguaggio Pascal e il comportamento a tempo di esecuzione dei programmi espressi mediante tale linguaggio.
Vengono infine presentate le caratteristiche fondamentali di altri linguaggi di programmazione ad alto livello (FORTRAN, BASIC etc.) con particolare riferimento all'impatto che esse hanno sulla metodologia di costruzione e verifica dei programmi.

Testi consigliati:

N. WIRTH, *Principi di programmazione strutturata*, ISEDI, Petrini Editore.
N. WIRTH, *Pascal User Manual and Report*.
AHO, HOPCROPT, ULLMAN, *The design and analysis of computer algorithms*, Addison Wesley, 1974.

Esami. Consistono in una prova scritta (progetto e traduzione in Pascal di un algoritmo) e una orale.
E' di fondamentale importanza ai fini del superamento dell'esame aver effettuato le prove pratiche all'elaboratore proposte durante il Corso.

3697
ELETTROACUSTICA
Docente: **Paolo Bassi** prof. ass.

Programma

1) *Fondamenti fisico-matematici, primi elementi della propagazione di onde acustiche ed applicazioni tradizionali*

— Richiami di calcolo tensoriale. Rappresentazione delle proprietà fisiche dei cristalli. Richiami di elasticità.

— Propagazione di onde acustiche in mezzi isotropi ed anisotropi illimitati; riflessione e rifrazione di onde elastiche piane; onde elastiche superficiali nei mezzi isotropi ed anisotropi illimitati.

— Propagazione di onde elastiche in un mezzo piezoelettrico: caso del mezzo illimitato e caso delle onde superficiali.

— Fondamenti sulla generazione e sulla rivelazione di onde elastiche.

2) *Interazione tra onde elastiche e microonde*

— Trasduttori interdigitati per generazione di onde acustiche superficiali (SAW) e di profondità: principi di funzionamento e criteri di progetto.

— Analisi e sintesi di filtri tramite SAW.

— Oscillatori e linee di ritardo.

— Sistemi a compressione d'impulso ed applicazioni nella tecnica RADAR.

— Utilizzazione dei dispositivi SAW nell'elaborazione dei segnali, con particolare riguardo alle applicazioni nel campo dell'elettronica civile.

3) *Interazioni acusto-ottiche*

— Propagazione della luce nei cristalli: diffrazione di un fascio ottico tramite onde acustiche; interazione di onde a frequenza ottica ed onde acustiche superficiali.

— Esempi di applicazione alla strumentazione elettronica: modulatori e deflettori acusto-ottici, analizzatori di spettro acusto-ottici integrati (IOSA).

Propedeuticità consigliate: Comunicazioni elettriche I, Campi elettromagnetici e circuiti I.

Testi consigliati:

E. DIEULESAINT, D. ROYER, *Elastic Waves in Solids*, J. Wiley and Sons.

2438
ELETTRONICA APPLICATA I
Docenti: **Sergio Graffi** prof. ord. (Elettronici A-K)
Pier Ugo Calzolari prof. ord. (Elettronici L-Z)

Il corso si propone di fornire le conoscenze di base sul funzionamento dei dispositivi bipolari al silicio (diodi e transistori bipolari) e sui relativi modelli usati nell'analisi automatica 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

Elementi di teoria del trasporto di corrente elettrica nei semiconduttori. Teoria elementare della giunzione p-n. Il diodo a giunzione e i suoi modelli. Teoria elementare e modelli del transistore bipolare. Esempi di impiego dei dispositivi bipolari in semplici circuiti non lineari. Generalità sui circuiti, sui segnali e sui componenti elettronici. Elementi bipolari, n-polari e n-pli bipoli. Linearizzazione, circuiti equivalenti per piccoli segnali; definizione e proprietà di diverse matrici. Analisi di circuiti lineari: funzioni di trasferimento, stabilità, condizioni di non distorsione. Generalità sugli amplificatori per piccoli segnali; stadi amplificatori con transistori. Circuiti equivalenti a due parametri del transistore a giunzioni ed applicazioni agli amplificatori ad uno e a più stadi. Amplificatori differenziali. Problemi di polarizzazione e di accoppiamento. Problemi di deriva. La retroazione nei circuiti elettronici. Amplificatori operazionali: proprietà ed applicazioni principali. Analisi di circuiti non lineari in regime periodico, circuiti in controfase, oscillatori sinuosoidali. Circuiti con bipoli a resistenza negativa: analisi della stabilità delle posizioni di equilibrio, circuiti bistabili, astabili, monostabili. Sintesi di bipoli a resistenza negativa. Multivibratori.

Testi consigliati:

MULLER-KAMINS, *Dispositivi elettronici nei circuiti integrati*, Boringhieri.
MULLER-KAMINS, *Device electronics for integrated circuits*, Wiley.
GROVE, *Fisica e tecnologia dei dispositivi a semiconduttore*, Angeli.
GROVE, *Physics and technology of semiconductor devices*, Wiley.
DE CASTRO, *Teoria dei dispositivi a semiconduttore*, Patron.
P.U. CALZOLARI, S. GRAFFI, *Elementi di Elettronica*, Zanichelli.
E. DE CASTRO, *Appunti di elettronica generale ed applicata*, Coop. Lib. Univ.
GRAY-MEYER, *Circuiti integrati analogici*, McGraw-Hill.

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. (Elettronici A-K)
Giorgio Baccarani prof. ord. (Elettronici 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 e CMOS: 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. Circuiti buffer MOS. Schiere logiche programmabili (PLA). 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 bipolare; flip-flops; 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:

1. HODGES, JACKSON, *Analysis and Design of Digital Integrated Circuits*, Mc Graw-Hill.
2. TAUB, SCHILLING, *Digital Integrated Electronics*, Mc Graw Hill.
3. BACCARANI, *Dispositivi MOS*, Pàtron.
4. RICCO, FANTINI, *Memorie a semiconduttore*, Pàtron.
5. DE CASTRO, *Teoria dei dispositivi a semiconduttore*, Pàtron.
6. DE CASTRO, CORAZZA, *Appunti di tecnica degli impulsi*, Coop. Libraria Universitaria.

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. (inc.)

Finalità del corso

Il corso tratta le moderne metodologie di progettazione dei sistemi integrati a larga scala in tecnologia n-MOS e C-MOS, con riferimento sia alle problematiche architetturali di una particolare categoria di dispositivi (DSP), sia alle tecniche di progettazione assistita a vari livelli di astrazione. Al fine di familiarizzare l'allievo con gli strumenti CAD, sono previste esercitazioni in un'aula appositamente attrezzata con un congruo numero di stazioni Microvax GPX.

Programma

1) *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. Architettura di un DSP microprogrammato. Convertitori A→D e D→A. Architettura del moltiplicatore parallelo. Unità logico-aritmetica. Registri. Comunicazione con il mondo esterno.

2) *Sintesi e verifica del progetto*

Scomposizione gerarchica del progetto. Analisi dei livelli di astrazione in un progetto gerarchico. Linguaggi funzionali e linguaggi di descrizione *hardware*. Simulazione funzionale, simulazione logica e simulazione circuitale. Progettazione *custom* e *semicustom*.

Progettazione a *gate-arrays* e *standard cells*. Macrocelle. Scelta della tecnologia di implementazione del circuito.

3) *Layout*

Brevi cenni di tecnologia planare del silicio, con particolare riferimento ai processi n-MOS e C-MOS. Regole di layout. Strategie di layout e strumenti CAD. Partizionamento, assegnazione e piazzamento. Algoritmi di *maze running* e di *line search*. Routing di canale. Routing globale. Compattazione e verifica del layout. Complessità computazionale nei problemi di layout.

4) *Progetto di celle digitali e analogiche*

Sommatori con riporto di vario tipo (*carry lookahead, Manchester*, etc.). Generatori di parità. Contatori asincroni e sincroni. Moltiplicatori seriali e paralleli. Registri. Schiere logiche programmabili (PLA). Progetto di macchine a stati finiti mediante PLA. Comparatori. Amplificatori operazionali.

Testi consigliati:

N. WESTE, K. ESHRAGHIAN, *Principles of C-MOS VLSI Design*, Addison-Wesley, 1985.
C.A. MEAD, L.A. CONWAY, *Introduction to VLSI Systems*, Addison-Wesley, 1980.

2037
ELETTRONICA INDUSTRIALE
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.

2034

ELETTRONICA QUANTISTICA

Docente: **Massimo Rudan** prof. ass.

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 conserva- zione.

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 e dinamico (modello a controllo di carica). 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.

6795

ELETTROTECNICA I

Docenti: **Filippo Ciampolini** prof. ord. (Elettronici II anno A-K)
Paolo R. Ghigi prof. ord. (Elettronici II anno L-Z)
Maria Martelli Rossi prof. ass. (Elettronici III anno)

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:

1) F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, ed. Pitagora, Bologna.
2) F. CIAMPOLINI, R. TROILI, *Macchine Elettriche*, ed. Calderini, Bologna.
3) C. DESOER, S. KUH, *Fondamenti di teoria delle Reti Elettriche*, ed. Angeli, Milano.
4) G. MARTINELLI, M. SALERNO, *Fondamenti di Elettrotecnica*, ed. Siderea, Roma.

Fotocopie di appunti.

1369
FISICA I
Docenti: **Alessandro Gandolfi** prof. ass. (Elettronici A-K, Elettrotecnici)
Franco Verniani prof. ord. (Elettronici L-Z)

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. (Elettronici A-K, Elettrotecnici)
Cesare Moroni prof. straord. (Elettronici L-Z)

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. (Elettronici A-K)
Giorgio Pagliarini prof. ass. (Elettronici L-Z)

Finalità del corso:

Il corso si propone di fornire le nozioni di base per l'analisi energetica dei sistemi, sia attraverso lo studio dei processi di conversione tra le diverse forme di energia (termica, meccanica, elettrica ...), sia fornendo gli elementi fondamentali sui meccanismi di scambio termico e sulla meccanica dei fluidi.

Programma

Termodinamica

Termodinamica generale — Richiami sui sistemi di unità di misura — Generalità e definizioni — Primo principio della termodinamica e proprietà energia — Secondo principio della termodinamica e proprietà entropia — Teorema dell'aumento della entropia — Effetti termoelettrici: effetto Seebeck, Peltier, Thomson, Joule, Fourier — Relazioni esistenti tra i diversi effetti termoelettrici.

Sistemi semplici monocomponenti — Superfici p, v, T e diagramma termodinamico p, v — Gas perfetti — Proprietà e trasformazioni dei gas perfetti — Proprietà dei liquidi — Proprietà e trasformazioni dei vapori saturi e surriscaldati — Diagrammi termodinamici (T, s), (h, s).

Sistemi semplici multicomponenti — Generalità — Proprietà delle miscele di gas perfetti.

Termodinamica dei sistemi aperti — Definizioni — Equazioni di bilancio di massa, di energia, di entropia — Bilancio della energia meccanica — Cicli termodinamici: ciclo Rankine, ciclo frigorifero.

Fluidodinamica

Meccanica dei fluidi — Aspetti fisici del moto di un fluido — Viscosità — Moto laminare e moto turbolento — Strato limite dinamico — Equazioni fondamentali del moto 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:

A. COCCHI, *Termofisica per Ingegneri*, Editore Petroni, Bologna, 1975.
M.W. ZEMANSKY, *Calore e termodinamica*, Zanichelli, Bologna, 1970.
R.B. BIRD, W.E. STEWART, E.N. LIGHTFOOT, *Fenomeni di trasporto*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1970.
A. GIULIANINI, *Fondamenti di Fisica Tecnica*, Pàtron Editore, Bologna, 1974.
F. KREIT, *Principi di trasmissione del calore*, Liguori Editore, Napoli, 1974.

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.

1377
GEOMETRIA
Docenti: **Massimo Ferri** prof. ord. (Elettronici A-D, Elettrotecnici)
Luigi Grasselli prof. ass. (Elettronici E-O)
Flavio Bonetti prof. ass. (Elettronici P-Z)

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.

5573
GESTIONE DELL'INFORMAZIONE
Docente: **Paolo Tiberio** prof. ord.

Programma

Introduzione ai concetti fondamentali sui sistemi informativi. Metodologie di classificazione delle informazioni. Modelli dei dati basati su entità ed associazioni, gerarchie di specializzazione IS-A. Proprietà, vincoli statici e dinamici. Raccolta dei requisiti informativi e metodologie di descrizione delle specifiche.

Rappresentazione dei dati su memoria di massa, caratteristiche dei supporti fisici per la memorizzazione.

Strutture sequenziali e relative, algoritmi di sort/merge, ricerca dei records. Strutture sequenziali con indice: ISAM e VSAM. Albero B e sue varianti. Strutture multilista e multianello. Indici secondari. Calcolo dei costi di utilizzo delle strutture per l'accesso ai dati. Gestione degli archivi nel linguaggio COBOL.

Generalizzazione del software, sistemi di gestione di basi di dati (DBMS). Architettura generale di un DBMS. Modelli dei dati: modello gerarchico, modello reticolare (CO-

DASYL), modello relazionale. Strutture fondamentali del sistema IMS. Gestione dei dati basata sui modelli gerarchico e reticolare.

Normalizzazione delle relazioni. Calcolo ed algebra relazionale. Linguaggi di interrogazione non procedurali: SQL e dBaseIII. Architettura generale di un DBMS relazionale. Metodi di accesso ai dati, ottimizzazione delle interrogazioni. Criteri ed algoritmi per l'autorizzazione all'accesso ai dati. Sottosistemi per la gestione della concorrenza e del ripristino delle informazioni in caso di guasti. Architettura generale di un DBMS relazionale distribuito.

Criteri generali di progetto dei sistemi informativi. La metodologia DATAID per il progetto di basi di dati: progetto concettuale, logico e fisico relazionale.

Introduzione alla rappresentazione della conoscenza in ambiente di Intelligenza Artificiale: reti semantiche e formalismo Kl-one. Il linguaggio Prolog, applicazioni alla gestione della conoscenza.

Testi consigliati:

1) Appunti informali del docente.
2) G. BRACCHI, G. MARTELLA, G. PELAGATTI, *Tecniche di organizzazione degli archivi*, ISEDI, 1984.
3) T.J. TEOREY, J.P. FRY, *Design of database structures*, Prentice Hall, 1982.
4) A. ALBANO, G. ORSINI, *Basi di dati*, Boringhieri, 1985.
5) P. TIBERIO, *Basi di dati, stato dell'arte e prospettive*, Collana AICA di informatica, Masson, 1985.
6) S. CERI, *Methodology and tools for database design*, North Holland, 1983.
7) W.F. CLOCKSIN, C.S. MELLISH, *Programming in Prolog*, Springer Verlag, 1984.

504-5843
IMPIANTI ELETTRICI
Docente: **Mario Pezzi** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica)

4138
LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE
Docente: **Flavio Bonfatti** prof. ass.

Obiettivo del corso è fornire una conoscenza dei metodi e degli strumenti per l'analisi e soprattutto per il progetto e lo sviluppo di sistemi di software. Si tratta di un corso

sostanzialmente autonomo, che cura una delle tre problematiche relative all'impiego dei calcolatori: le altre due sono trattate nei corsi di Calcolatori e di Gestione dell'Informazione.

Programma

La programmazione dei calcolatori elettronici. Evoluzione storica dei linguaggi di programmazione. Dal linguaggio macchina ai primi linguaggi simbolici, ai linguaggi di alto livello. Tendenze e orientamenti nello sviluppo dei nuovi linguaggi.

La programmazione strutturata. Struttura a blocchi di un programma. Le istruzioni algoritmiche di un linguaggio per programmazione strutturata. L'esempio del linguaggio Pascal. Gestione dinamica della memoria e ambiti di validità delle variabili. Le procedure recursive. Istruzioni dichiarative per la caratterizzazione delle variabili.

Il processo di compilazione. Richiami di teoria dei linguaggi. Definizione formale di grammatica. Gli alberi sintattici. Gli automi a stati finiti. Schema generale di un compilatore. Analisi lessicale e analisi sintattica. Le precedenze degli operatori. I controlli semantici. Generazione del codice oggetto. Collegamenti fra moduli-oggetto. Il codice in forma eseguibile.

Organizzazione degli archivi su memoria secondaria. Caratteristiche dei dispositivi: nastro magnetico e disco. Metodi di organizzazione degli archivi. Organizzazione sequenziale. Organizzazione a indice. Organizzazione casuale. Tecniche d'accesso agli archivi: sequenziale, relativa, con chiave. Calcolo dell'occupazione di memoria e dei tempi d'accesso. Criteri per la scelta del metodo di organizzazione più conveniente.

Metodologie di progettazione del software. Analisi di massima delle funzioni del programma: l'esempio della metodologia HIPO. Definizione dettagliata delle singole funzioni: l'esempio della metodologia PHOS. Cenni ad altre metodologie e agli ambienti per lo sviluppo del software.

Linguaggi di tipo non imperativo. Paradigmi di programmazione funzionale, logica e ad oggetti. La logica del primo ordine. Il linguaggio Prolog. Sintassi e strutture di dati. Strategia di risoluzione. Esempi di applicazioni.

Testi consigliati:

Dispense informali redatte dal docente.

W. FINDLAY, D.A. WATT, *Introduzione al Pascal*, Etas Libri.

D. GRIES, *Compiler Construction for digital computers*, J. Wiley.

G. BRACCHI, G. MARTELLA, G. PELAGATTI, *Tecniche di organizzazione degli archivi*, Isedi.

W.F. CLOCKSIN, C.S. MELLISH, *Programmare in Prolog*, Franco Angeli.

Esame: scritto e orale.

E' utile aver frequentato i corsi del biennio di introduzione alla programmazione ed il corso di Sistemi per l'Elaborazione dell'Informazione.

2632
MECCANICA DELLE MACCHINE E MACCHINE
Docente: **Angelo O. Andrisano** prof. ass.

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 regola-

zione 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. (Elettronici A-D, Elettrotecnici)
Alberto Strumia prof. ass. (Elettronici E-O)
Claudio Tebaldi prof. ass. (Elettronic P-Z)

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 radente 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.
CERCIGNANI, *Spazio, tempo, movimento*, Zanichelli.
GRAFFI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Patron.
GALLAVOTTI, *Meccanica elementare*, Boringhieri.

L'*esame* è costituito da una prova scritta ed una orale.

Propedeuticità consigliate: Analisi matematica I e II, Geometria, Fisica I.

2004

METODI DI OSSERVAZIONE E MISURA

Docenti: **Franco Malaguti** prof. ass. (Elettronici A-K)
Antonio Menchetti prof. ass. (Elettronici L-Z ed Elettrotecnici)

Scopo del corso è fornire allo studente le nozioni fondamentali di teoria della probabilità, analisi statistica, metrologia e metodi di misura che si utilizzano in ogni acquisizione, trasmissione ed elaborazione di dati.

Programma

Elementi di teoria della probabilità

Fenomeni aleatori, esperimenti ed eventi. Definizioni di probabilità. Probabilità condizionate. Dipendenza ed indipendenza. Variabili aleatorie. Funzioni di distribuzione e densità. Momenti. Funzione caratteristica.

Vettori aleatori. Funzioni di distribuzione e densità congiunte e marginali. Momenti, indipendenza, covarianza e correlazione. Legge dei grandi numeri e teorema del limite centrale. Processi aleatori.

Elementi di inferenza statistica

Popolazioni e campioni. Campionamento. Stimatori, loro proprietà e tecniche di costruzione. Intervalli di confidenza, prova delle ipotesi e test di adattamento. Regressione, intervalli di previsione.

Elementi di metrologia

Sistemi di unità di misura. Il Sistema Internazionale, stato attuale e tendenze evolutive. I metodi e gli errori di misura.

Testi consigliati:

B.W. LINDGREN, *Statistical theory*, Collier Mc Millan, New York e Londra, 1976.
G. CARIOLARO, G. PIEROBON, *Teoria della probabilità e dei processi aleatori*, Vol. I, Patron, Bologna.
F. MALAGUTI, *Elementi di teoria della probabilità*, Voll. 1° e 2° Pitagora editore, Bologna.
T.H. WONNACOTT, R.J. WONNACOTT, *Introduzione alla statistica*, F. Angeli editore, Milano, 1982.

Ulteriori informazioni su testi sostitutivi o integrativi e sulla disponibilità di dispense monografiche verranno fornire durante lo svolgimento del corso.

Propedeuticità consigliate

Si ritengono indispensabili le nozioni fondamentali fornite nei corsi di Analisi Matematica I e II e di Fisica I e II.

5701
METODI 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.
Algoritmi primali e duali.

A. *Programmazione non lineare*
Condizioni di ottimalità per problemi senza vincoli. Metodi numerici: Metodo di Newton-Raphson modificato, Metodo del gradiente. Condizioni di ottimalità per problemi con vincoli. Moltiplicatori di Lagrange. Metodi numerici: Metodo della funzione di penalizzazione. Metodo della proiezione del gradiente.

B. *Ottimizzazione combinatoria*
Complessità dei problemi di ottimizzazione combinatoria. Algoritmi di tipo esatto ed euristico. Procedure di riduzione.

B1. *Problemi polinomiali* — Algoritmi per la determinazione di arborescenze a costo minimo, flussi massimi e flussi a costo minimo.

B2. *Algoritmi esatti per problemi NP-completi* — Programmazione dinamica: riduzione del numero degli stati, risoluzione dei problemi del sacco e del circuito hamiltoniano a peso minimo. Metodi «Branch and Bound»: determinazione dei «bound» (rilassamento surrogato, rilassamento lagrangiano, tecnica del subgradiente, rilassamento dello spazio degli stati), criteri di dominanza. Algoritmi per la risoluzione dei problemi del sacco singolo e multiplo, dell'assegnamento generalizzato, del circuito e del ciclo hamiltoniano a peso minimo.

B3. *Algoritmi euristici per problemi NP-completi* — Analisi delle prestazioni. Tecniche ad una o più fasi. Algoritmi per la risoluzione dei problemi del sacco e del ciclo hamiltoniano a peso minimo.

Durante il corso verranno inoltre presentate alcune applicazioni riguardanti problemi di taglio, problemi di turnistica, problemi di caricamento e percorso di veicoli, problemi di gestione di un sistema di trasporto di gas, problemi di localizzazione ottima di servizi.

Le esercitazioni saranno integrate con prove al calcolatore.

Propedeuticità consigliate: Calcolo numerico e programmazione, Ricerca Operativa.

Testi consigliati:

C.H. PAPADIMITRIOU, K. STEIGLITZ, *Combinatorial Optimization: Algorithms and Com-*

plexity, Prentice-Hall, 1982.
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.

5702
MICROELETTRONICA
Docente: **Massimo Rudan** prof. ass. (inc.)

Finalità del corso:

Il corso si propone di illustrare le moderne tecniche di fabbricazione, le modalità di funzionamento e le cause di degrado dei circuiti integrati quale premessa indispensabile per una loro corretta progettazione, scelta ed utilizzazione.

Programma

Proprietà chimico-fisiche e caratteristiche elettriche del silicio per uso elettronico.

Introduzione alla tecnologia planare: circuiti integrati bipolari analogici, di potenza, digitali (TTL e I^2L); circuiti integrati n-MOS e C-MOS; prospettive VLSI.

Processi tecnologici di fabbricazione: tecniche litografiche, epitassia, ossidazione, impianto ionico, metallizzazione.

Introduzione alla progettazione assistita da calcolatore (CAD) ed all'automazione delle linee di produzione (CAM) dei moderni circuiti integrati.

Affidabilità dei circuiti integrati e dei sistemi elettronici in generale. Prove accelerate e fisica dei meccanismi di guasto. Valutazioni statistiche e implicazioni economiche dell'affidabilità.

Esercitazioni. Esempi di calcolo di dispositivi elementari. Illustrazione di circuiti integrati bipolari e MOS particolarmente significativi. Applicazione della microscopia elettronica allo studio dei guasti.

Testi consigliati:

Appunti redatti a cura del docente.

Tesi. Prevalentemente di tipo sperimentale. Per studenti meritevoli che intendono svolgere tesi di maggiore impegno sono disponibili «premi di laurea» per un importo

complessivo di tre milioni messi a disposizione da primarie industrie nazionali operanti nel settore della Microelettronica.

Propedeuticità. Si presuppone una conoscenza di base sulla fisica dei dispositivi a semiconduttore e sui circuiti elettronici analogici e digitali.

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 più adatti per le altissime frequenze. Concetti fondamentali relativi all'analisi e al progetto di circuiti integrati a microonde con l'ausilio del calcolatore. Progetto di amplificatori a basso rumore. Cenno sull'analisi non lineare. Oscillatori, mixer, moltiplicatori e divisori. Misure a microonde: l'analizzatore di reti.

Testi consigliati:

G.C. CORAZZA, A. MANIMPIETRI, C. MONTEBELLO, *Circuiti a microonde*, Edizioni Pàtron, Bologna.
C.G. SOMEDA, *Onde elettromagnetiche guidate*, Pitagora Editrice, 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.

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. (Elettronici A-K)
Domenico Mirri prof. ass. (Elettronici L-Z)

Il Corso si propone di illustrare i concetti ed i metodi utili per individuare e risolvere i problemi di misura e rilevazione di grandezze elettriche e di grandezze di natura diversa ma per via elettrica nell'elettrotecnica, nell'elettronica e nei sistemi di automazione.

Si propone inoltre di fornire i criteri e le conoscenze per la valutazione, la scelta, l'impiego e la progettazione della strumentazione.

Programma

Metrologia

Richiami di metrologia generale. Il Sistema Internazionale, unità e campioni. Elementi di metrologia elettrica. Richiami di teoria degli errori.

Segnali elettrici di misura

I segnali elettrici come supporto fisico delle informazioni. Catena di misura (data logging) e catena di regolazione automatica. Segnali analogici e numerici. L'amplificazione dei segnali analogici di misura (amplificatori operazionali e per strumentazione; amplificatori in ca). Conversione analogico-numerica e numerico-analogica. L'elaborazione numerica dei segnali di misura.

Misura per via elettrica di grandezze non elettriche

Sensori e trasduttori: modello interpretativo, grandezze di influenza, funzionamento in regime stazionario e dinamico, condizioni di non distorsione. Principi fisici della trasduzione. Caratterizzazione dei trasduttori riguardanti le grandezze fisiche di maggiore interesse nei dispositivi di regolazione e governo di impianti e processi industriali. Casi particolari del controllo di velocità di motori e del controllo di posizione.

Misure di tempo e frequenza

Campioni di tempo e frequenza. Misura della frequenza e degli intervalli di tempo con strumenti a contatore.

Misura delle grandezze elettriche attive in regime stazionario ed in transitorio

Strumenti analogici elettromeccanici ed elettronici. Componenti per l'ampliamento del campo di misura: trasformatori di tensione e corrente, attenuatori, amplificatori, convertitori ca-cc di precisione, moltiplicatori analogici. Campioni di f.e.m. Metodi potenziometrici. Strumenti numerici. Registratori XY e X-t. Oscilloscopio. Registratore di transitori. Oscilloscopio a memoria numerica.

Misure di impedenza

Componenti di precisione e reti equivalenti. Parametri indesiderati dei circuiti. Metodi indiretti e per sostituzione. Metodi voltampermetrico, di zero, di risonanza. Strumenti automatici.

Misure sui circuiti in regime stazionario e in transitorio

Determinazione del regime dei circuiti in corrente continua, in corrente alternata monofase e trifase. La risposta dei circuiti nel dominio del tempo e della frequenza. Analizzatore di reti.

Sistemi complessi di misura, sistemi di acquisizione dati, telemisure

Strumenti di misura a microprocessore. Interfaccia standard IEEE-488 per apparecchi di misura programmabili. Componenti di un sistema per l'acquisizione di dati. Problemi di diagnostica e di autodiagnostica. Sistemi a video grafico con allarmi. Telemisure: concetti generali, sistemi analogici, sistemi numerici.

Le *esercitazioni* svolte in aula riguardano approfondimenti e completamenti degli argomenti trattati nelle lezioni.

Le esercitazioni svolte in laboratorio riguardano la strumentazione (in particolare l'oscilloscopio), prove su componenti per automazione tramite un banco automatico di misura, esempi di analisi di segnali e di filtraggio numerico, la determinazione sperimentale di alcuni parametri caratteristici di trasduttori.

Testi consigliati:

Vengono distribuite dispense.
Si consiglia inoltre la consultazione, per particolari argomenti, dei volumi seguenti:

BERTOLACCI, BUSSOLATI e MANFREDI, *Elettronica per misure industriali*, Tamburini editore.
L. BENETAZZO, *Misure elettroniche. Vol. 1° (strumentazione analogica)*, ed. CLEUP, Padova.
L. BENETAZZO, *Misure elettroniche. Vol. 2° (strumentazione numerica)*, ed. CLEUP, Padova.
P. SCHIAFFINO, *Misure elettroniche*, ed. CLUP, Milano.
P.H. SYDENHAM (a cura di), *Handbook of measurement science*, J. Wiley & Sons.

Propedeuticità consigliate: Si ritiene essenziale la conoscenza delle nozioni fornite nei corsi di Elettrotecnica I, Elettronica Applicata I, Elettronica Applicata II, Reti Logiche.

9240
PROGRAMMAZIONE DEI CALCOLATORI ELETTRONICI
Docente: **Paolo Toth** prof. ord. (inc.)

Il Corso è logicamente suddiviso in due parti. La prima parte intende fornire i concetti, le metodologie e gli strumenti fondamentali per la definizione, lo sviluppo e la prova dei programmi. La seconda parte ha come obiettivo la introduzione delle nozioni fondamentali alla base della trasformazione dei programmi in linguaggio di alto livello in programmi in linguaggio macchina.

Programma

Parte prima

1) Tecniche per la organizzazione, l'accesso e la manipolazione di strutture dati complesse.

Viene presentata la organizzazione logica di strutture dati quali liste, alberi, files, e si introducono tecniche per la loro rappresentazione fisica.

2) Metodologie di sviluppo di programmi.

Dopo avere introdotto concetti e costrutti linguistici per esprimere la definizione di programmi in moduli separati, vengono presentate metodologie di sviluppo top-down e bottom-up.

3) Strumenti per la definizione, traduzione e testing dei programmi.

Dopo una introduzione alla architettura e alle funzioni fondamentali dei sistemi operativi e del file system in particolare, vengono presentate le caratteristiche principali dei programmi traduttori, collegatori, caricatori e di un debugger simbolico.

Parte seconda

1) Introduzione ai linguaggi formali e ai relativi automi riconoscitori.

Vengono introdotti esempi di macchine a stati finiti, push-down automata e macchine di Turing come automi riconoscitori di corrispondenti categorie di linguaggi formali.

2) Introduzione al linguaggio macchina.

Vengono presentate le caratteristiche fondamentali di un linguaggio assembler e dei programmi assoluti e rilocabili.

3) Introduzione alle tecniche di traduzione.

Vengono presentate tecniche di analisi lessicale e sintattica e introdotti i problemi relativi alla generazione di codice macchina. Viene introdotto il concetto di rappresentazione a tempo di esecuzione di un programma di alto livello e studiato il collegamento tra programmi di alto livello e programmi assembler.

Testi consigliati:

M. LUCAS, J.P. PEYRIN, P.C. SHOLL, *Costruzione di algoritmi e rappresentazione dei dati*, Masson, 1986.

J.M. BRADY, *The theory of computer science. A programming approach*, Chapman and Hall, 1977.

S. CRESPI REGHIZZI, *Sintassi, semantica e tecniche di compilazione. (Vol. 1. Metodi sintattici)*, CLUP, 1985.

Esami. Consistono di una prova scritta ed una orale. La prova scritta è subordinata alla effettuazione di un sufficiente numero di prove pratiche.

877
RADIOTECNICA
Docente: **Oreste Andrisano** prof. ass.

Il corso si pone l'obiettivo di fornire i criteri di progetto dei radiosistemi analogici e digitali; questi ultimi sono inquadrati nella architettura della rete integrata nei servizi e nelle tecniche. In particolare vengono affrontate le problematiche della trasmissione su canale hertziano e dell'accesso multiplo di più utenti ad una risorsa comune. Il corso rappresenta la naturale prosecuzione dei corsi di Comunicazioni Elettriche I e di Campi e.m. I ed è quindi rivolto a tutti gli allievi elettronici.

Programma

1. *Generalità sui radiosistemi*: loro inquadramento nella rete di comunicazioni numerica integrata nei servizi e nelle tecniche. Esempi più significativi: reti radiomobili, sistemi via satellite, ponti radio, reti locali via radio, radiodiffusione terrestre e via satellite, radioaiuti.

2. *La cifra di impianto*: i principali parametri che caratterizzano il radiosistema. 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 e PSK. Applicazioni: il recupero dei sincronismi di portante e di simbolo.

4. *Sistemi di modulazione digitali su canale hertziano*: confronto di prestazioni in termini di compromesso efficienza spettrale-potenza trasmessa. Esempi: sistemi M-QAM, PSK, sistemi a fase continua. Comportamento in presenza di rumore termico, interferenza intersimbolo, interferenza intercanale e isocanale.

5. *Sistemi di modulazione analogici su canale hertziano*: confronto di prestazioni ed

effetto di soglia in modulazione di frequenza. Circuiti ad aggancio di fase e relative applicazioni.

6. *Schemi a blocchi dei trasmettitori per oscillazioni modulate*: esempi.

7. *Effetti delle nonlinearità*: sistemi in banda base ed a radiofrequenza. Conversione ampiezza/ampiezza ed ampiezza/fase. 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. *Schemi a blocchi dei ricevitori per oscillazioni modulate*: esempi.

10. *Le tecniche di accesso multiplo*: tecniche di assegnazione casuale, fissa e su domanda. Esempi.

11. *Alcune applicazioni, con relativi calcoli di progetto, scelte tra le seguenti*:
A. *Ponti radio*: confronto tra i tradizionali sistemi FM-FDM ed i moderni sistemi digitali.
B. *Sistemi di radiodiffusione diretta da satellite (DBS)*: dimensionamento di massima della stazione di terra.
C. *Reti di comunicazione via satellite*: collegamenti internazionali, regionali e domestici.
D. *Reti radiomobili*: organizzazione del sistema cellulare.
E. *Radioaiuti*: il radar come sensore di un sistema di sorveglianza, impianti radar impulsivi e ad onda continua.

Testi consigliati:

1. Appunti tratti dalle lezioni.
2. L. CALANDRINO, G. IMMOVILLI, *Sistemi di modulazione per trasmissioni numeriche*, Ed. Patron, Bologna.
3. Dispense di esercitazioni con il p.c.
4. K. FEHER, *Digital Communications*, Ed. Prentice-Hall Inc., USA.
5. V.K. BHARGAVA ed altri, *Digital Communications by satellite*, Ed. John Wiley & Sons.

Esercitazioni in laboratorio: dimostrazioni, su banco di misura automatizzato, del comportamento di sistemi di modulazione numerici.

Esercitazioni con il personal computer: calcoli di progetto di sistemi di trasmissione digitali.

Tesi di Laurea: di tipo sperimentale (da sviluppare presso il Laboratorio del D.E.I.S. o presso aziende di Telecomunicazioni), di tipo teorico, o applicativo (da sviluppare con i mezzi di calcolo del D.E.I.S. o della Facoltà).

5579
RETI LOGICHE
Docenti: **Roberto Laschi** prof. ord. (Elettronici A-K)
Eugenio Faldella prof. ass. (Elettronici 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. ass.

Obiettivo del corso è presentare le metodologie per la soluzione dei problemi decisionali che si presentano in campo sociale ed industriale.

Programma

1. *Programmazione lineare*
1.1 Generalità sulla programmazione matematica e sui problemi di programmazione convessa.
1.2 Forma generale, canonica e standard di un problema di programmazione lineare. Algoritmo del simplesso: soluzioni base, interpretazione geometrica, organizzazione del «tableau», criterio di ottimalità, degenerazione, determinazione di una soluzione base iniziale.
1.3 Teoria della dualità: problema duale, condizioni di ortogonalità, algoritmo del simplesso duale, algoritmo primale-duale.

2. *Programmazione lineare intera*
2.1 Unimodularità; algoritmi basati su piani di taglio ed algoritmi enumerativi.
2.2 Programmazione lineare intera: metodo di Gomory, albero decisionale per un algoritmo enumerativo.
2.3 Programmazione lineare intera mista, programmazione lineare 0-1, problemi «Knapsack».

3. *Teoria dei Grafi*
3.1 Definizioni relative a grafi orientati e non orientati.
3.2 Alberi. Problema del più corto albero ricoprente. Problemi di cammini minimi. Circuiti Hamiltoniani. Problema del commesso viaggiatore.
3.3 Teoria della complessità: concetto di difficoltà di un problema combinatorio, classi P ed NP, trasformazioni polinomiali, problemi NP-completi. Complessità della programmazione lineare. Programmazione dinamica, algoritmi pseudo-polinomiali, problemi fortemente NP-completi.

4. *Simulazione di sistemi discreti*
4.1 Complementi di statistica: generazione di variabili aleatorie, metodo della trasformazione inversa, distribuzioni discrete.
4.2 Descrizione statica e dinamica di un sistema, metodo della programmazione degli eventi, diagrammi di flusso per problemi di simulazione.
4.3 Linguaggio Simscript.

Testi consigliati:

N. CHRISTOFIDES, *Graph Theory: an algorithmic approach*, J. Wiley, 1978.

C. PAPADIMITRIOU, K. STEIGLITZ, *Combinational Optimization - Algorithms and Complexity*, Prentice Hall, 1982.

Esami: è prevista una prova scritta ed una orale.
Indirizzo delle *Tesi di Laurea*: problemi di ottimizzazione combinatoria.

6802
SCIENZA DELLE COSTRUZIONI
Docenti: **Eugenio D'Anna** prof. ass. (Elettronici A-K)
Mario Cannarozzi prof. ass. (Elettronici L-Z)

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.

BIBLIOTECA

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.

3980
SISTEMI PER L'ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE
Docenti: **Giovanni Neri** prof. straord. (Elettronici A-K)
Tullio Salmon Cinotti prof. ass. (Elettronici L-Z)

Evoluzione tecnologica dei calcolatori — Moderne metodologie di progetto — Correlazione con le tecnologie VLSI.

Architettura di una CPU — Registri — Temporizzazione — Segnali di comunicazione con il mondo esterno — Linguaggio macchina — Linguaggio assemblativo — Tecniche di indirizzamento.

Interfacciamento — Metodologie di decodifica — Impiego dei dispositivi PAL — Memorie: RAM/ROM — Memorie dinamiche — Controllori periferici intelligenti: timer, UART, orologio, etc. — Impiego a controllo di programma.

Concetto di interruzione e relative applicazioni — Controllori di interruzione — Concetto di DMA e relativo controllore — Analisi di un sistema a microprocessore comprendente tutti i dispositivi analizzati.

Microprocessori avanzati — Concetto di intelligenza distribuita — Coprocessori — Microprocessori ad alta integrazione — Protezione di memoria e cenni sulla memoria virtuale — Metodi di realizzazione integrata.

Concetto di bus standard — Implicazioni meccaniche ed elettriche — Sistemi multiprocessore — Arbitraggio e relative metodologie di realizzazione — Dispositivi integrati per l'arbitraggio — Analisi di alcuni bus: MULTIBUS, VME, FASTBUS, M3.

Concetto di rete locale di calcolatori — Sistemi CSMA/CD e Token-passing — Dispositivi integrati per il controllo — La strutturazione ISO/OSI.

Considerazioni economiche inerenti ai progetti di sistemi a microprocessore.

9239
SISTEMI PER L'ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE (avanzato)
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 e microprogrammazione - 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.

4) Sistemi di input/output.

Caratteristiche dei sistemi di input/output - Meccanismi di interrupt ed hardware speciale - Processori di I/0 e Canali di I/0.

5) Pipeline ed elaborazione vettoriale.

Pipeline lineare - Classificazione dei processori a pipeline - Pipeline generali - Organizzazioni di memoria fasate - Progetto di unità con istruzioni gestite a pipeline - Progetto di unità aritmetiche a pipeline - Progetto di processori a pipeline.

6) Calcolatori a pipeline e tecniche di vettorizzazione.

Supercalcolatori vettoriali: l'architettura del CRAY X-MP; l'architettura del CYBER 205; l'architettura del Fujtsu VP 200.

Scientific Attached Processors: l'architettura dell'AP-120B; FPS-164; IBM 3838.

Metodi di vettorizzazione ed ottimizzazione.

7) Strutture ed algoritmi per array processors.

Organizzazioni del sistema di calcolo - Meccanismi di mascheramento e data routing - Comunicazione tra gli elementi di elaborazione - Reti di interconnessione - Reti statiche-/dinamiche - Organizzazione di memoria associativa.

8) Architetture a multiprocessori.

Strutture funzionali - Reti di interconnessione - Organizzazioni di memorie parallele - Cenni a Sistemi Operativi per sistemi a multiprocessore.

9) Elementi di base sui calcolatori del tipo Data Flow.

Architetture di calcolatori data flow - Calcolatori data flow statico - Calcolatori data flow dinamico.

Testi consigliati:

HOCKNEY, JESSHOPE, *Parallel Computers*, Adam Hilger, Bristol.

Esame: orale.

Propedeuticità consigliate: Reti logiche, Sistemi per l'elaborazione dell'informazione.

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 parte si danno i concetti fondamentali sulla sicurezza delle apparecchiature biomediche.

Programma

Parte I - Sistemi di Misura

1. Concetti generali
Descrizione funzionale della catena di misura. Interconnessione con il sistema oggetto di misura. Caratteristica statica e dinamica del sistema di misura.

2. Biosensori
Trasduttori resistivi di temperatura, velocità e pressione. Trasduttori piezoelettrici: principi fisici ed applicazione degli ultrasuoni in medicina. Trasduttori fotoelettrici: legge di Lambert-Beer e apparecchiature per analisi cliniche (densitometri, ossimetri, etc.). Trasduttori biochimici. Richiami di elettrochimica. pHmetri, blood gas analyzers e strumenti amperometrici. Elettrodi per segnali bioelettrici (elettrocardiogramma ed encefalogramma). Microelettrodi.

3. Acquisizione di segnali biologici
Preamplificatori: per strumentazione, d'isolamento, di modo comune. Amplificatori e filtri. 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 in: Radiologia e medicina nucleare. Ecografia. Tomografia assiale computerizzata. Risonanza Magnetica Nucleare.

Parte II - Sistemi di supporto alle funzioni vitali

1. Emodialisi. Elementi di fisiologia renale, la macchina per dialisi, monitoraggio e controllo del processo di dialisi.
2. Dispositivi intra ed extra corporei di supporto alla circolazione del sangue. Macchina cuore-polmone, pallone intraaortico, ventricular assist devices.
3. Elettrostimolatori cardiaci. Pacemakers e defibrillatori.
4. Protesi passive ed attive per arto superiore. Protesi mioelettriche.
5. Apparecchiature per la terapia respiratoria.

Parte III - Sicurezza elettrica delle apparecchiature biomediche

Effetti della corrente elettrica sull'uomo. Rischi di shock elettrico da apparecchiature biomediche. Metodi per revenire gli incidenti elettrici. Enti di normazione e certificazione. 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.
Propedeuticità consigliate: Tutti i corsi del 3 anno.

2044
STRUMENTAZIONE ELETTRONICA
Docente: **Guido Masetti** prof. ord.

Programma

1) *Brevi richiami e complementi del corso di Misure Elettriche*:
a) sensibilità e precisione di uno strumento, errori, linearità, stabilità a breve e lungo termine;
b) disturbi, metodi per ridurne l'effetto, normativa;
c) alcuni circuiti elettronici integrati di uso frequente nella strumentazione:
Amplificatori operazionali, A. per strumentazione, A. a trasconduttanza, multiplexers, sample and hold, convertitori D/A a rete di resistenze o di condensatori, convertitori A/D per approssimazioni successive, in parallelo, elementi non lineari (convertitori logaritmici, moltiplicatori analogici), etc.

2) *Il rumore di fondo: sua caratterizzazione e misura*:
rumore Johnson, shot, flicker e burst; densità spettrale di potenza nei diversi casi; sorgenti campione di rumore e loro taratura; cifra di rumore di un apparato e sua misura.

3) *Tecniche per migliorare il rapporto segnale/rumore negli strumenti di misura*:
filtraggio, mo-demodulazione, amplificatori lock-in, campionamento ed averaging.

4) *Sensori e trasduttori a semiconduttori*:
termoelettrici, fotoelettrici, chimici, piezoelettrici. Principi di funzionamento e realizzazione in forma integrata.

5) *Strumentazione di particolare interesse*:
a. analizzatori di spettro;
b. analizzatori multicanale;
c. strumenti per la misura di precisione di piccoli intervalli di tempo e di piccole differenze di fase.
Alcuni esempi di sistemi compositi (strumentazione per il collaudo dei ponti radio a modulazione di frequenza, per il riconoscimento di eventi nucleari, etc. - Parte monografica eventualmente diversa di anno in anno).

6) *Strumentazione computerizzata e reti di strumenti*:
l'impiego dei micro e dei minicalcolatori nei sistemi di misura, reti di strumenti interconnessi, problemi di gestione e di trasmissione dei dati. Norme.
Alcuni esempi di strumentazione computerizzata: apparecchiature per il collaudo dei circuiti integrati.

5574
TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO (per Elettronici)
Docente: **Alberto Tonielli** prof. ass.

Finalità del corso

Il corso illustra i principali aspetti tecnologici connessi con la realizzazione, a livello industriale, dei moderni sistemi di controllo e di automazione.

Partendo dalla struttura di un generico sistema di controllo, vengono illustrate dapprima alcune categorie di trasduttori (prevalentemente di tipo elettrico), per affrontare poi il problema della elaborazione analogica di segnali, con particolare enfasi sull'amplificazione in condizioni «difficili» (elevati guadagni, presenza di disturbi, alta accuratezza) e sul filtraggio mediante componenti attivi.

Sono poi considerate le interfacce tra i dispositivi di controllo digitale ed il processo ed in particolare i dispositivi di isolamento, di campionamento e tenuta ed i convertitori analogico digitale e digitale analogico.

Vengono quindi presentate le caratteristiche di alcuni dispositivi di elaborazione specializzati per il controllo (Controllori Programmabili, microcontrollori e Processori di Segnale), sia dal punto di vista Hardware che per quanto riguarda gli aspetti implementativi degli algoritmi.

Conclude il corso una panoramica sul problema dell'affidabilità dei sistemi di automazione con l'illustrazione di alcuni modelli per il calcolo dei parametri più tipici.

Programma

1. *Trasduttori tipici nei sistemi di automazione* — Posizione: potenziometro, resolver, inductosin, encoder. Velocità: dinamo, resolver, encoder. Deformazione, pressione, forza: estensimetri. Temperatura: termocoppie, termoresistenze, termistori.

2. *Elaborazione analogica dei segnali* — Elaborazione analogica dei segnali. Amplificazione di segnali in condizioni «difficili». Filtraggio analogico. Realizzazione di filtri attivi.

3. *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. Amplificazione di potenza (cenni).

4. *Dispositivi speciali di elaborazione per il controllo* — Controllori logici programmabili. Microcontrollori. Processori di Segnale.

5. *Implementazione digitale di regolatori, filtri e controllori logici; software per il controllo* — Regolatori e Filtri. Controllori logici: linguaggi di programmazione standard. Il *grafcet* come linguaggio ad alto livello per logiche sequenziali.

6. *Affidabilità dei sistemi di automazione* — Terminologia e definizioni. Norma MIL 217-D. Sistemi complessi ed interconnessi.

Testi consigliati:

G. MARRO, *Componenti dei sistemi di controllo*, Zanichelli ed.
Verranno inoltre forniti appunti informali a cura del docente e copie dei fogli applicativi dei dispositivi presentati.

Esercitazioni. Compatibilmente con il numero di studenti, saranno effettuate esercitazioni pratiche, a gruppi, in laboratorio.

Esami. Lo svolgimento della prova di esame consiste, normalmente, nella discussione di una relazione sull'esercitazione di laboratorio (facoltativa) svolta, e/o in domande ed esercizi sugli argomenti trattati nel corso.

Tesi di Laurea. Le tesi di laurea assegnate sono 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. (Elettronici A-K)
Sergio Beghelli prof. ass. (Elettronici 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. Esempi di sistemi dinamici. Definizioni e proprietà generali. Controllo ed osservazione dello stato. Interconnessione di sistemi. Le problematiche della teoria dei sistemi e del controllo.

I sistemi a stati finiti

Modelli di sistemi a stati finiti. Esempi di sistemi a stati finiti. Rappresentazioni 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.

Proprietà generali dei sistemi lineari

Evoluzione dello stato. Rappresentazione IU dei sistemi lineari stazionari. Relazioni fra le rappresentazioni IU e ISU. Controllo ed osservazione dei sistemi lineari. Aspetti computazionali del controllo e dell'osservazione.

Analisi della stabilità

Definizioni fondamentali. Il metodo diretto di Liapunov. Stabilità dei sistemi lineari non stazionari. Stabilità dei sistemi lineari stazionari.

La struttura dei sistemi lineari stazionari

Operazioni sui sottospazi e procedimenti computazionali. Controllabilità ed osservabilità. Retroazione ed assegnabilità degli autovalori. Osservatori asintotici dello stato e proprietà di separazione. La scomposizione di Kalman e la forma di Jordan. La realizzazione di sequenze di ingresso-uscita.

Il corso è integrato dai seguenti richiami matematici

Insiemi, relazioni e funzioni. Partizioni e parzializzazioni. Campi e spazi vettoriali. Sottospazi e varietà lineari. Indipendenza lineare, basi ed isomorfismi. Proiezioni e sottospazi invarianti. Algebra delle matrici. Cambiamenti di base e matrici di proiezione. Prodotto interno ed ortogonalità. Proiezioni ortogonali e pseudoinverse. Autovalori ed autovettori. La forma triangolare superiore. La forma canonica di Jordan. Matrici hermitiane e forme quadratiche. Spazi metrici e normati. Equazioni differenziali e alle differenze finite lienari. Funzioni di matrice. Il procedimento di ortonormalizzazione di Gram-Schmidt. Metodi computazionali per la determinazione dei polinomi caratteristico e minimo.

Le *esercitazioni* sono parte integrante del corso e comprendono aspetti elementari di modellistica e l'applicazione delle metodologie sistemistiche 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 adottati

G. Marro, *Teoria dei Sistemi e del Controllo*, Zanichelli Editore, Bologna, 1989.
R. Guidorzi, *Teoria dei Sistemi: Esercizi e Applicazioni* (dispense).

Ulteriori testi consigliati

A. RUBERTI e A. ISIDORI, *Teoria dei Sistemi*, Boringhieri, 1979.
J.L. CASTI, *Dynamical Systems and their Applications*, Academic Press, New York, 1977.
R. KALMAN, P. FALB e L. ARBIB, *Topics in Mathematical System Theory*, McGraw-Hill, New York, 1969.

Propedeuticità consigliate: Complementi di matematica.

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.

Le *Tesi di Laurea* sono prevalentemente orientate verso lo sviluppo di algoritmi per l'analisi e la sintesi dei sistemi dinamici lineari e non lineari e l'applicazione di detti algoritmi nell'identificazione ed il controllo di processi reali, industriali ed ecologici.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE 2007

Programmi delle materie di insegnamento
Per le seguenti materie:

1350 Analisi matematica I
1354 Analisi matematica II
1368 Fisica I
1373 Fisica II
1376 Geometria
1380 Meccanica razionale
v. Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

1360 Chimica
1364 Disegno
6801 Scienza delle costruzioni
v. Corso di Laurea in Ingegneria Chimica

196 Controlli automatici
205 Costruzioni elettromeccaniche
6797 Fisica tecnica
v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica

9432
ANALISI DI SICUREZZA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI
Docente: **Carlo Maria Orlandelli** prof. ass.

6462
CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE (per Minerari e Nucleari)
Docente: **Franca Tesi** prof. ass.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria mineraria)

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.

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.

2046
CHIMICA FISICA DEI MATERIALI NUCLEARI
Docente: **Dario Nobili** prof. ass.

Il corso fornisce le basi di Termodinamica e Cinetica che consentono di trattare problemi di preparazione, stabilità e compatibilità dei materiali. I problemi che verranno analizzati con questi strumenti sono principalmente quelli posti dai sistemi nucleari, integrati da esempi relativi a dispositivi elettronici e nuovi materiali.

Programma

Effetti termici connessi alle reazioni chimiche ed alle trasformazioni di fase; con particolare riferimento ai rischi chimici di impianti nucleari.

Elementi di Termodinamica statistica - Entropia - Solido di Einstein ed equilibrio termico - Funzione di partizione dell'energia - Statistica di Boltzmann. III° Principio della Termodinamica.

Equilibrio chimico - Equilibri di ossidoriduzione e diagrammi di Ellingham. Applicazioni a problemi metallurgici e di compatibilità in sistemi nucleari. Struttura di cristalli - Indici di assi e di piani - Difetti reticolari.

Termodinamica dei difetti di punto - Tecniche di indagine di questi difetti.

Diffusione nei solidi - Leggi di Fick - Meccanismi di diffusione; influenza dei difetti e del danno di radiazione - Determinazione dei coefficente di diffusione - Cinetiche di rinvenimento dei difetti e del danno di radiazione; determinazione dell'energia di attivazione - Rinvenimento a mezzo laser.

Equilibri di fase nei sistemi ad un solo componente.

Termodinamica delle leghe. Equazione di Gibbs-Duhem. Modello quasichimico delle leghe. Curve entalpia libera/composizione ed equilibrio fra le fasi - Teorema di Gibbs - Fasi

metastabili ed instabili - Diagrammi di equilibrio - Deduzione di proprietà termodinamiche dei costituenti dai diagrammi di stato.

Solubilità - Soluzioni sovrasature; preparazione mediante impiantazione ionica e laser. Dipendenza dalla pressione della solubilità di un gas - Dipendenza della solubilità dalle dimensioni di una fase data: equazione di Gibbs-Thomson. Applicazione a fenomeni di coalescenza, di deterioramento delle proprietà meccaniche, swelling e sinterizzazione.

Nucleazione nelle trasformazioni di fase.

Stechiometria e potenziale chimico dei costituenti di fasi intermedie. Controllo della stechiometria di ossidi di Uranio e Plutonio, compatibilità di questi combustibili con materiali di guaina.

Struttura e proprietà di nuovi materiali: Superconduttori ceramici - Conduttori Polimerici - Semiconduttori amorfi.

Il corso è integrato, per quanto attiene a macchine acceleratrici di ioni o elettroni, generatori laser di potenza, microscopia elettronica, da illustrazioni tenute presso il C.N.R.

Testi consigliati:

Sono disponibili, per la maggior parte degli argomenti, appunti del corso.
Per approfondimenti ed estensioni:
R.A. SWALIN, *Thermodynamics of Solids*, J. Wiley, 2nd Edition (1971).
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 semiconduttori o superconduttori con fasci ioni, elettroni o laser: Tecniche sperimentali, danno di radiazione e suo rinvenimento, composizione, struttura, proprietà e stabilità - Analisi chimica di tracce.

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.

2826
COMBUSTIBILI NUCLEARI
Docente: **Luigi Bruzzi** prof. ass.

Il corso si propone di dare gli elementi di conoscenza di base dei combustibili nucleari, curando in particolare la metodologia di approccio per lo studio del combustibile durante l'irraggiamento, evidenziando i legami che tale comportamento ha con le scelte dei materiali, col progetto e le specifiche di fabbricazione dell'elemento di combustibile e con le rimanenti fasi del ciclo del combustibile.

Programma

I combustibili nucleari per la fissione e per la fusione.

Riserve e risorse di combustibili nucleari e loro possibilità di sfruttamento nei vari tipi di reattori a fissione e a fusione.

Ruolo dei combustibili nucleari nel soddisfacimento dei fabbisogni energetici.

Metodologia di approccio per l'analisi di rischio del combustibile nucleare e di altre fonti energetiche.

Ciclo del combustibile nelle centrali termiche convenzionali ed in quelle nucleari.

Processi di conversione e di fertilizzazione.

Ciclo del combustibile in pila e fuori pila.

Criteri di scelta e principali caratteristiche dei materiali impiegati nel ciclo del combustibile.

Materiali combustibili: densità, conducibilità termica, comportamento sotto irraggiamento, compatibilità.

Materiali refrigeranti: proprietà termiche, densità, attivazione neutronica. Impiego del sodio nei reattori veloci.

Materiali strutturali: caratteristiche fisiche, meccaniche e nucleari degli acciai inossidabili e delle leghe di zirconio.

Materiali moderatori: grafite, acqua leggera, acqua pesante e moderatori organici.

Reazioni nucleari e mutazioni isotopiche. Richiami di struttura del nucleo, isotopia e schemi di decadimento dei prodotti di fissione.

Ciclo uranio-torio e uranio-plutonio. Prodotti di fissione. Energia associata alla fissione. Distribuzione della massa dei prodotti di fissione. Catene di decadimento dei prodotti di fissione.

Potenza residua di decadimento di elementi di combustibile irraggiati. Comportamento della barretta combustibile durante l'irraggiamento.

Trasformazioni subite dal combustibile ceramico, rigonfiamento e scorrimento viscoso.

Effetto dell'irraggiamento sul materiale di guaina.

Interazioni meccaniche e chimiche combustibile-guaina.

Interazione chimica combustibile-refrigerante.

Comportamento integrale di una barretta ad ossidi misti durante l'irraggiamento.

Testi consigliati:

BRUZZI, CICOGNANI, DOMINICI, *Il ciclo del combustibile dei reattori nucleari*, CNEN, serie trattati, II edizione, 1981.

Propedeuticità consigliate: Chimica fisica dei materiali nucleari.

Le *esercitazioni* (15-20 ore) vertono su esercizi numerici in applicazione degli argomenti trattati nel corso e sulla trattazione di temi specifici di aggiornamento.

Tesi di Laurea: orientate verso lo studio dei processi del ciclo del combustibile fuori pila e del comportamento in pila degli elementi di combustibile.

2468
COMPLEMENTI DI ELETTROTECNICA
Docente: **Ivan Montanari** prof. ass.

Il corso si propone di fornire agli allievi ingegneri Nucleari i criteri di studio, i principi di funzionamento, le caratteristiche di esercizio ed elementi di tecnologia relativi agli impianti per la produzione di energia elettrica sia di tipo provato che di tipo avanzato. A tale scopo vengono studiate le metodologie per l'analisi di affidabilità dei sistemi elettrici, le tecniche di analisi e progetto dei grandi magneti superconduttori, le apparecchiature di manovra e protezione negli impianti elettrici di potenza.

Programma

Criteri per l'analisi di affidabilità dei sistemi elettrici mediante:
— albero degli eventi
— albero dei guasti
— quantificazione degli eventi base
— analisi qualitativa e quantitativa dei fault trees
Apparecchiature elettriche speciali
— magneti superconduttori
— sistemi elettromagnetici per il confinamento dei plasmi
Sistemi di produzione e trasmissione dell'energia elettrica
— circuiti principali ed ausiliari nelle centrali elettriche
— apparecchi di manovra e protezione
— dispositivi di regolazione e controllo
— dispositivi diagnostici e di protezione
Elementi di progettazione di impianti elettrici in bassa tensione
— scelta delle apparecchiature di manovra e protezione
— coordinamento delle protezioni.

4127
COMPLEMENTI DI NEUTRONICA
Docente: **Vincenzo Molinari** prof. ord. (inc.)

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: **Antonio Strozzi** prof. ass.

Finalità del corso:

Il corso si propone di mettere l'allievo in grado di calcolare gli organi di macchina.

Programma

Richiamo di strumenti matematici.

Modelli matematici per il calcolo degli organi di macchina e loro limiti di validità: modello meccanico del materiale, modello della forma geometrica, modello dei vincoli.

Analisi della tensione e della deformazione, sia in condizioni statiche sia in condizioni dinamiche, in organi di macchina: impostazione al continuo con metodi di soluzione, impostazione al discreto con metodi di soluzione, metodi sperimentali.

Sintesi costruttiva degli organi di macchina: scelta del materiale, calcolo a deformazione, calcolo contro la rottura per fatica e per urto, calcolo contro la rottura fragile, calcolo contro la deformazione e la rottura provocate da scorrimento viscoso, calcolo contro l'instabilità, calcolo contro l'usura e la corrosione.

Scelta ottima dei parametri caratteristici dell'organo di macchina: funzioni obiettivo, funzioni di vincolo.

Testi consigliati:

1) TIMOSHENKO-GOODIER, *Theory of elasticity*, McGraw-Hill Book Co.
2) TIMOSHENKO-WOINOWSKY-KREIGER, *Theory of plates and shells*, McGraw-Hill Book Co.
3) RUITZ-KOENIGSBERGER, *Design for strength and production*, Macmillan.
4) GIOVANNOZZI, *Costruzione di macchine*, Patron.
5) ROARK, *Formulas for stress and strain*, McGraw-Hill Book Co.

Le *esercitazioni* vertono sulla realizzazione di programmi per il calcolo di organi di macchina e sul progetto meccanico completo di una semplice macchina.

Gli *esami* si svolgono in appelli a richiesta degli allievi.

Propedeuticità consigliate: Meccanica delle macchine e Scienza delle costruzioni.

1364
DISEGNO (per Elettrotecnici, Chimici, Minerari, Elettronici e Nucleari)
Docente: **Umberto Meneghetti** prof. ord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica)

9041

ELEMENTI DI FISICA E DI INGEGNERIA DEI PLASMI (per Nucleari ed Elettrotecnici)
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: **Sergio Curioni** prof. ord.

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.

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. straord.

Equazioni generali dell'elettromagnetismo: richiami e complementi sui vettori conser-

vativi, 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.

406
FISICA ATOMICA
Docente: **Mauro Morganti** prof. ass.

Il corso si propone di fare acquisire agli studenti i fondamenti sperimentali e teorici della fisica moderna, introducendo i concetti di base della teoria della relatività (ristretta) e della meccanica quantistica e illustrando le applicazioni di questa ultima teoria (nella sua formulazione ondulatoria) alla spiegazione di alcuni problemi fondamentali nello studio della struttura della materia.

Programma

1 — *Relatività ristretta*: Relatività newtoniana. Esperimento di Michelson-Morley. Postu-

lati di Einstein. Le trasformazioni di Lorentz. Contrazione delle lunghezze e dilatazione dei tempi. Critica operativa al concetto di simultaneità. La meccanica relativistica. Equivalenza massa-energia. Relatività ed elettromagnetismo. 2 — *Origine delle teorie quantistiche*: Problemi non risolti della fisica classica: i calori specifici e la radiazione del corpo nero. L'ipotesi di Planck. I fotoni: effetto fotoelettrico, effetto Compton, interazione fra radiazione e materia. Onde e fotoni. I modelli atomici. Atomo di Rutherford. Spettroscopia e struttura degli atomi. Il modello di Bohr. La teoria di Bohr e Sommerfeld e la quantizzazione delle variabili dinamiche. 3 — *Meccanica quantistica*: Critica operativa delle teorie semiclassiche. Onde di De Broglie e pacchetti d'onde. La diffrazione degli elettroni. Equazione di Schrödinger: grandezze fisiche ed operatori. Principio di Heisenberg. Soluzione dell'equazione di Schrödinger in diversi casi semplici. Il formalismo della meccanica quantistica e la sua interpretazione. Il momento angolare. L'equazione di Schrödinger per un campo di forze centrali: gli atomi idrogenoidi. Teoria delle perturbazioni. 4 — *Strutture atomiche e molecolari*: Lo spin. Principio di Pauli. La configurazione elettronica degli atomi. Metodo di Hartree per gli atomi complessi. Raggi X e strutture atomiche. Atomo di elio ed effetti di scambio. Spettri ottici di atomi complessi e schemi di accoppiamento. Cenni alle strutture molecolari. 5 — *Statistiche classiche e quantistiche.*

Testi consigliati:

R. RESNICK, *Introduzione alla relatività ristretta.*
M. BORN, *Fisica Atomica.*
ALONSO-FINN, *Fundamental University Physics* (III).
BARBERO-MALVANO, *Introduzione alla Fisica Atomica Molecolare.*
La Fisica di Berkeley, Vol. IV: Fisica Quantistica.

Il corso è integrato da *esercitazioni* rivolte a richiamare nozioni di fisica classica e ad applicare i principi esposti nel corso alla soluzione di problemi particolarmente illustrativi delle metodologie utilizzate nella fisica atomica.

Esami orali.

Propedeuticità consigliate: Fisica I, Fisica II, Meccanica razionale.

409
FISICA DEL REATTORE NUCLEARE
Docente: **Vincenzo Molinari** prof. ord.

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.*

Si consiglia di sostenere l'esame di Fisica nucleare nel III anno del corso di studi.

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.

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.

2631
MECCANICA DELLE MACCHINE
Docente: **Alberto Maggiore** prof. ord.

Scopo del corso:

Il corso si propone di fornire gli elementi per lo studio delle macchine dal punto di vista statico, cinematico e dinamico.

Programma

La prima parte del corso è dedicata allo studio della trasmissione del movimento e delle forze dei meccanismi. A questo scopo viene esaminato il comportamento delle coppie cinematiche sia in condizioni di attrito secco, sia lubrificante. L'analisi viene quindi estesa ai principali meccanismi impiegati nella tecnica: quadrilatero articolato, manovellismo di spinta, glifo a croce, giunto di Cardano, meccanismi con camme, rotismi, meccanismi con organi flessibili.

Nella seconda parte del corso vengono considerati alcuni aspetti del comportamento dinamico delle macchine. Vengono così studiate le vibrazioni dei sistemi ad un grado di libertà, l'equilibratura e le velocità critiche dei rotori, la compensazione delle azioni di inerzia nelle macchine alternative, la regolarità del moto delle macchine.

Testo consigliato:

E. FUNAIOLI, *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.

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, atte-

nuazione — 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 scatte-

ring, 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.

5804
PROBLEMI MATEMATICI DEI REATTORI NUCLEARI
Docente: **Marco Spiga** prof. ass.

Il corso si propone di fornire gli elementi di analisi superiore e di fisica matematica indispensabili ad affrontare correttamente l'analisi dei sistemi nucleari ed i problemi fisici ed ingegneristici ad essi associati. La teoria viene svolta con lo scopo di fornire strumenti adeguati per le applicazioni, che, pur caratterizzate da una impostazione interdisciplinare, sono tratte prevalentemente dall'ingegneria nucleare, e toccano in particolare tutti i principali problemi matematici della teoria del trasporto di neutroni e della fisica del reattore nucleare.

Programma

Funzioni complesse di variabile complessa. Funzioni analitiche. Integrali nel campo complesso. Residui. Serie di Taylor e di Laurent. Zeri e poli. Prolungamento analitico. Funzioni polidrome. Applicazioni del teorema dei residui. Lemmi di Jordan.

Insiemi e funzioni misurabili. Integrale secondo Lebesgue. Topologia degli spazi astratti. Spazi di Banach e di Hilbert. Lo spazio L_2. Funzionali e operatori. Distribuzioni. Ortogonalità e completezza in L_2. Serie di Fourier. Teoremi di Parseval e Riesz- Fischer. Sistemi ortogonali e completi. Polinomi ortogonali. Trasformata di Fourier finita.

Trasformata e integrale di Fourier. Significato e proprietà della operazione. Applicazioni. Trasformata ed integrale di Laplace, ascisse di convergenza. Problemi di valore iniziale. Trasformata bilatera di Laplace.

Operatori integrali lineari e loro proprietà. Equazioni integrali di Fredholm. Serie di Neumann. Autovalori e autofunzioni. Nuclei degeneri. Teoremi di Fredholm. Equazioni integrali di Volterra.

Problemi di valore al contorno. Funzione di Green, suo significato, ed applicazioni. Problemi di Sturm Liouville regolari e singolari. Autovalori e autofunzioni. Esempi di problemi singolari.

Genesi e applicazioni delle funzioni speciali. Equazioni differenziali ordinarie e teorema di Fuchs. Equazioni e funzioni ipergeometriche. Funzioni di Legendre e di Bessel e applicazioni. Funzione gamma di Euler.

Equazioni alle derivate parziali. Problema e teorema di Cauchy. Il metodo delle caratteristiche. Equazioni della fisica matematica. Equazioni iperboliche, paraboliche, ellittiche. Problemi di valore al contorno. La tecnica di separazione delle variabili.

Esercitazioni

Sono parte essenziale del corso: la teoria svolta viene applicata alla risoluzione di concreti problemi di base della fisica e dell'ingegneria, con particolare riguardo alla fisica ed ingegneria dei reattori nucleari. Vengono tra l'altro trattati i seguenti argomenti: studio di alcuni operatori della teoria del trasporto e della diffusione e relativi autovalori e autofunzioni, l'equazione integrale del trasporto, l'uso di serie di Fourier e di trasformate integrali nella soluzione di equazioni dell'ingegneria nucleare, funzioni di Green nel trasporto e diffusione di neutroni, densità neutroniche e profili di temperatura in sistemi

reattoriali esprimibili per mezzo di funzioni speciali, il metodo delle armoniche sferiche, fenomeni di propagazione e diffusione di neutroni e di calore.

Testi consigliati:

F.G. TRICOMI, *Istituzioni di analisi superiore*, CEDAM.
E. DE CASTRO, *Complementi di analisi matematica*, Zanichelli.
A.C. ZAANEN, *Linear analysis*, North Holland.
A. GHIZZETTI, A. OSSICINI, *Trasformate di Laplace e calcolo simbolico*, UTET.
M. REED, B. SIMON, *Methods of modern mathematical physics*, Academic Press.
A. ERDELYI (a cura di), *Higher trascendental functions*, McGraw Hill.
I. STAKGOLD, *Boundary value problems of mathematical physics*, Macmillan.
F. JOHN, *Partial differential equations*, Springer Verlag.
G. SPIGA, *Problemi matematici della fisica e dell'ingegneria*, Pitagora.

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, diffusione, ...).

9045
PROGETTO TERMOMECCANICO DEL NOCCIOLO
Docente:

Il corso si propone di fornire allo studente le conoscenze di base per la progettazione termomeccanica dei componenti del nocciolo di un reattore nucleare.

Programma

1) Considerazioni sui reattori nucleari e sui materiali per i componenti del nocciolo.
2) Aspetti neutronici e termofluidodinamici; influenza sul comportamento termomeccanico dei componenti.
3) Modelli di trasmissione del calore nel combustibile (foro centrale e porosità), nel gap (conduzione, convezione, irraggiamento, influenza del burnup, correlazioni semiempiriche, modello di Braughton-Mc Donald e di Lassmann), nella guaina.
4) Profili di temperatura nell'elemento di combustibile, di reattori ad acqua e veloci, in regime stazionario e transitorio, con generazione di calore dipendente dallo spazio e dal tempo.
5) Profili di temperatura negli schermi termici, in regime stazionario e transitorio.

6) Analisi di barrette in canali deformati, rigonfiamento (ballooning) della guaina, canali a quattro cuspidi, profili di velocità nel fluido e di temperatura di guaina con asimmetria azimutale. Numero di Nusselt locale lungo il perimetro bagnato.
7) Termoidraulica dei metalli liquidi. Proprietà fisiche ed analisi dell'ebollizione. Cause del surriscaldamento. Perdite di carico e coefficiente di trasporto di calore per sodio in flussi bifase.
8) Tensioni termiche nelle guaine e nei componenti del nocciolo.

Testi consigliati:

J.H. RUST, *Nuclear Power Plant Engineering*, Haralson Publishing Compani.
B.M. MA., *Nuclear Reactor Materials and Applications*, Van Nostrand Reinlhold Co.
Z. ZUDANS, *Thermal Stress in Nuclear Industry*, Ed. Elsevier.

Propedeuticità consigliate:
Termotecnica del reattore, Fisica del reattore nucleare, Scienza delle costruzioni.

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.

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.

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.

2049
TECNOLOGIE GENERALI
Docente: **Gustavo Favretti** prof. ord. (inc.)

Il corso si propone lo studio e la descrizione dei processi generali di fabbricazione con particolare riguardo a quelli che interessano i componenti delle costruzioni elettromeccaniche, chimiche e nucleari.

Vengono analizzati i vari processi di trasformazione dei materiali impiegati (materiali ferrosi e leghe di rame) fino al pezzo finito, i fattori che li influenzano e i dispositivi e le macchine utilizzate.

Particolare attenzione viene rivolta all'analisi delle tipologie dei materiali impiegati in rapporto sia alla loro struttura sia alle loro caratteristiche meccaniche e alla tecnologia della saldatura.

Programma

1ª parte — *Tecnologia dei materiali metallici.* Caratterizzazione statica (prove di trazione, compressione, flessione, torsione, durezza), resilienza, solidificazione delle leghe binarie, diagramma ferro-carbonio, strutture degli acciai e delle ghise, produzione della ghisa greggia, produzione degli acciai, caratteristiche impieghi e designazione degli acciai, trattamenti termici degli acciai, tipi caratteristiche e impieghi delle ghise, rame e sue leghe.

2ª parte — *Tecnologie meccaniche.* Lavorazione per deformazione plastica: incrudimento e riassetto, fucinatura e stampaggio a caldo, magli e presse, laminazione, estrusione, trafilatura, lavorazione delle lamiere sottili (taglio, tranciatura, punzonatura, piegatura, cilindratura, sagomatura, imbutitura), dispositivi per la lavorazione delle lamiere, sinterizzazione (metallurgia delle polveri). Lavorazioni per asportazione di materiale: taglio dei

metalli (cenno), lavorazioni per asportazione di truciolo (tornitura, fresatura, foratura, piallatura, brocciatura, finitura superficiale), utensili e macchine utensili relative, il controllo numerico delle macchine utensili.

3ª parte — *Tecnologia della saldatura*. Saldatura: ossiacetilenica, ad arco manuale, MIG, MAG, TIG, arcatom, elettrogas, ad arco sommerso, al getto di plasma, alluminotermica, mediante fascio elettronico, mediante raggio laser.

Taglio: ossiacetilenico, al getto di plasma, mediante raggio laser.

Saldature per pressione: per forgiatura, a resistenza elettrica, a scintillio. Saldobrasatura, brasatura capillare.

Aspetti termici, metallurgici e meccanici nella saldatura degli acciai. Controlli non distruttivi: liquidi penetranti, metodi magnetici, impiego di raggi x e di raggi γ, metodo degli ultrasuoni, emissione acustica.

Testi consigliati:

Tecnologia meccanica, Lezioni tenute presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, Patron, Bologna.
VALLINI A., *La saldatura e i suoi problemi*, Vol. 1° e 2°, Del Bianco editore.
MAZZOLENI F., *Tecnologie dei metalli*, Vol. 2° e 3°, UTET.
SPURG G., STÖFERLE T.,*Enciclopedia delle lavorazioni meccaniche*, Vol. 5° *Lavorazioni per deformazione*, Tecniche nuove, Milano.
MICHELETTI G.F., *Tecnologia meccanica*, Vol. 1° e 2°, UTET.
Macchine utensili, in *Enciclopedia pratica della tecnica*, Vallecchi, Firenze.
Metals Handbook, Volumi 3°, 4°, 5°, 6°, 11°, American Society for Metals.

Propedeuticità consigliate: Scienza delle costruzioni, Meccanica applicata alle macchine.

Esami: tests sulle lavorazioni meccaniche, redazione e discussione di una tesina su argomento concordato con il docente.

Tesi di laurea: processi di saldatura, processi e macchine per la lavorazione dei metalli.

6803
TEORIA DEI SISTEMI (per Nucleari)
Docente: **Giuseppe Basile** prof. ord.

1059
TERMOTECNICA DEL REATTORE
Docente: **Enrico Lorenzini** prof. ord.

Il corso si propone di approfondire i vari aspetti della trasmissione del calore e del moto dei fluidi, per giungere ad una preliminare progettazione termica del nocciolo del reattore.

Programma

A) *Trasporto molecolare e turbolento* — Trasporto molecolare — Trasporto di materia, calore, quantità di moto — Fluidi non newtoniani — Applicazioni della teoria del trasporto molecolare allo stato non stazionario con generazione interna — Trasporto turbolento — Distribuzione delle velocità nel moto turbolento — Trasporto di calore e di materia nel moto turbolento — Analisi matematica del moto turbolento — Sviluppi fondamentali del trasporto turbolento — Lo strato limite — L'analogia di Reynolds — L'analogia di Colburn — L'analogia di Martinelli — Teoria della penetrazione.

B) *Aspetti termici nei reattori nucleari* — Generazione ed estrazione del calore nei sistemi reattoriali — Progettazione del sistema di raffreddamento — I circuiti del refrigerante — Distribuzione delle sorgenti di calore — Calore generato negli elementi di combustibile — Generazione di calore nel moderatore — Generazione di calore nel riflettore e nello schermo — Distribuzione della temperatura lungo il percorso del refrigerante — Canali di refrigerazione generalizzati — Potenza di pompaggio — Ebollizione — Sollecitazioni termiche.

C) *Scelta delle caratteristiche costruttive dei reattori.*

D) *Fattori di canale caldo.*

E) *Progettazione preliminare e calcoli relativi.*

F) *Cicli termodinamici dei reattori nucleari.*

G) *Ebollizione* — Trasporto di calore in presenza di un cambiamento di fase — Flusso bifase — Determinazione della caduta di pressione — Dimensionamento di bocche di efflusso — Fenomeni di instabilità e metastabilità.

H) *Energia nucleare*: economia, proliferazione, impatto ambientale, legislazione.

Testi consigliati:

LORENZINI, *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.

Università di Bologna
BIBLIOTECA
Facoltà di Ingegneria

06100

L. 5.000

FACOLTÀ DI INGEGNERIA