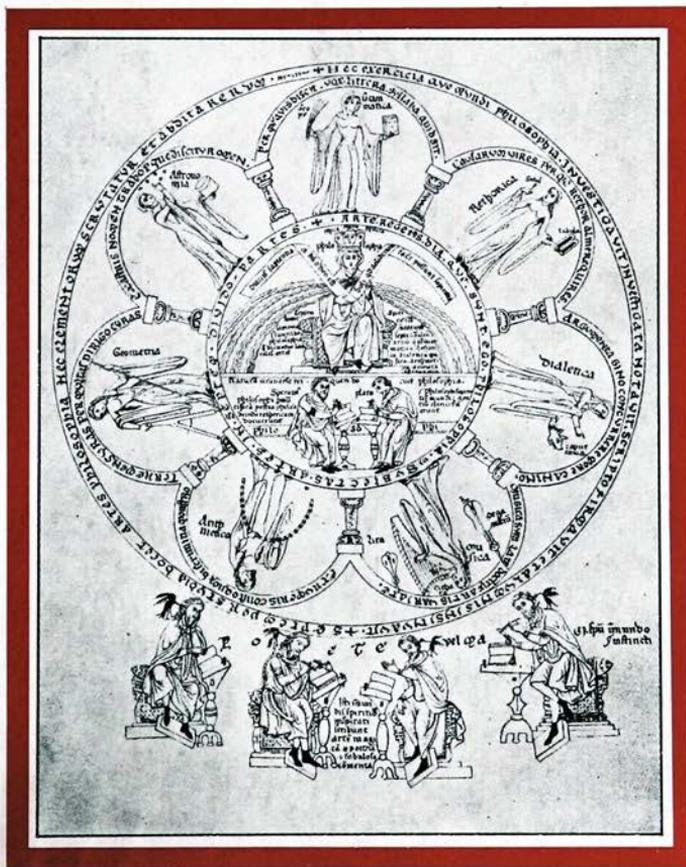


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA

GUIDA DELLO STUDENTE PER LA FACOLTÀ DI

# INGEGNERIA

ANNO  
ACCADEMICO  
1982-1983



CLUB



**PHILOSOPHIA-SOPHIA**

Dal manoscritto « Hortus deliciarum »  
di Herrad von Landsberg, XII secolo.

Già nella Biblioteca Nazionale di  
Strasburgo (distrutta nel 1870).

Disegno ricostruito da G. Keller e  
A. Straub (a cura di) *Herrad von*

*Landsberg, Ortus deliciarum,*

Strasburgo 1879-1899 (1901).



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA

GUIDA DELLO STUDENTE  
PER LA FACOLTÀ DI  
INGEGNERIA

Anno Accademico 1982-1983

Biblioteca "Gian Paolo Dore"  
Alma Mater Studiorum - Università di Bologna  
INV. N° 14352

Editrice **QUEB** Bologna



## INDICE

	<i>pag.</i>
<b>Ordinamento della Facoltà di ingegneria</b> . . . . .	7
<b>Scuole di Specializzazione</b> . . . . .	12
<b>Organi ufficiali della Facoltà</b> . . . . .	15
1 - Consiglio di Facoltà (Commissioni permanenti, Comitati di gestione)	15
2 - Consigli di Corso di Laurea (Commissioni per i Piani di studio)	16
<b>Strutture didattico-scientifiche</b> . . . . .	16
Istituti e insegnamenti ad essi afferenti . . . . .	16
Elenco degli insegnamenti della Facoltà . . . . .	23
Equivalenze tra insegnamenti del nuovo e vecchio ordinamento . . . . .	29
<b>Ordine degli studi per l'A.A. 1982/83</b> . . . . .	31
1 - Calendario delle lezioni . . . . .	31
2 - Calendario degli esami . . . . .	31
3 - Esami di Laurea . . . . .	31
4 - Piani di studio ufficiali . . . . .	32
5 - Note esplicative sui singoli Corsi di Laurea . . . . .	43
<b>Dati statistici (studenti iscritti, laureati)</b> . . . . .	60
<b>Normativa di Segreteria</b> . . . . .	63
1 - Immatricolazione . . . . .	63
2 - Immatricolazione di stranieri e di italiani in possesso di titoli di studio stranieri . . . . .	64
A) Immatricolazione con pre-iscrizione . . . . .	64
B) Immatricolazione senza pre-iscrizione . . . . .	65
C) Iscrizione ad anni di corso successivi al primo . . . . .	66
D) Riconoscimento di titoli accademici esteri o di periodi di studio universitario compiuto all'estero . . . . .	66
E) Normativa per l'iscrizione di "sottoingegneri" . . . . .	66
3 - Norme generali relative alla carriera scolastica . . . . .	66
A) Validità dell'anno e attestazioni di frequenza . . . . .	66
B) Corsi liberi . . . . .	67
C) Esami di profitto . . . . .	67
D) Esami di Laurea o Diploma. Modalità . . . . .	67
E) Conseguimento di un'altra laurea . . . . .	68
4 - Norme particolari relative alla carriera scolastica nella Facoltà di Ingegneria . . . . .	68

	<i>pag.</i>
5 - Trasferimenti ad o da altre Università, o Facoltà, o Corsi di Laurea	
A) Trasferimenti ad altra Università (congedi) . . . . .	70
B) Trasferimenti da altra Università . . . . .	71
C) Passaggi da altra Facoltà o Corso di Laurea presso l'Università di Bologna . . . . .	71
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 . . . . .	72
E) Normativa per l'iscrizione di laureati in Architettura . . . . .	74
6 - Piani di studio individuali . . . . .	74
A) Criteri generali della Facoltà per l'applicazione delle leggi n. 910 e n. 924 . . . . .	75
B) Norme di massima per singoli Corsi di Laurea . . . . .	76
7 - Rilascio di attestazioni . . . . .	79
8 - Dispensa dalle tasse e assegno di studio . . . . .	79
<b>Programmi delle materie di insegnamento . . . . .</b>	<b>83</b>
1 - Corso di Laurea in Ingegneria Civile . . . . .	83
A) Biennio propedeutico, comune a tutte le Sezioni . . . . .	83
B) Triennio di applicazione, materie comuni a tutte le Sezioni . . . . .	96
C) Ingegneria Civile, sezione Edile . . . . .	114
D) Ingegneria Civile, sezione Idraulica . . . . .	135
E) Ingegneria Civile, sezione Trasporti . . . . .	146
2 - Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica . . . . .	151
3 - Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica . . . . .	186
4 - Corso di Laurea in Ingegneria Chimica . . . . .	219
5 - Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria . . . . .	252
6 - Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica . . . . .	268
7 - Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare . . . . .	321

**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 minerali;
- (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 dei sistemi dell'ingegneria chimica;
- analisi di sicurezza degli impianti nucleari;
- analisi funzionale;
- analisi numerica;
- analisi sperimentale delle tensioni;
- analisi strutturale con l'elaboratore elettronico;

- applicazioni industriali dell'elettrotecnica;
- 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 idraulica;  
 complementi di idrologia;  
 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 nucleari;  
 costruzioni per l'industria;  
 difesa e conservazione del suolo;  
 dinamica e controllo delle apparecchiature chimiche;  
 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 economia 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 minerari;  
 impianti tecnici civili;  
 impianti tecnici industriali;  
 ingegneria sanitaria;  
 ingegneria sismica (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 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 diritto (semestrale);  
 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;  
 progetti di strutture;

progetto termomeccanico del nocciolo;  
 programmazione dello sviluppo e dell'assetto  
 del territorio;  
 proprietà fisiche e tecnologiche degli alti poli-  
 meri;  
 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;  
 sviluppo e disegno degli impianti chimici;  
 tecnica della circolazione;  
 tecnica della pianificazione dei trasporti;  
 tecnica delle alte tensioni;  
 tecnica delle fondazioni (semestrale);

#### Art. 150

La facoltà annualmente stabilirà ed indi-  
 cherà, 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 es-  
 sere osservate.

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 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 dal-  
 l'art. 147. Gli insegnamenti di cui al presente ar-  
 ticolo 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

L'esame di laurea consiste nella discussio-  
 ne o di un progetto o di una ricerca tecnica  
 svolti dal candidato. Le modalità per l'assegna-  
 zione e lo svolgimento del progetto e della ri-  
 cerca vengono fissate dal consiglio di facoltà.

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

## SCUOLE DI SPECIALIZZAZIONE

attivate nell'a.a. 1982/83

### — Corso di perfezionamento in ingegneria ceramica.

#### Art. 381

Il corso ha la durata di un anno.

#### Art. 382

Il direttore del corso è nominato dal Consiglio di Facoltà e si intende confermato anno per anno salvo contrario provvedimento.

#### Art. 383

Possono essere iscritti al corso di perfezionamento in ingegneria ceramica i laureati in ingegneria.

#### Art. 384

Le materie di studio per gli iscritti al corso sono le seguenti:

- a) chimica dei prodotti ceramici;
- b) tecnologia della ceramica;
- c) impianti industriali ceramici;
- d) applicazione dei prodotti ceramici all'elettrotecnica.

#### Art. 385

Tali materie saranno integrate da cicli di conferenze di carattere monografico.

Lo svolgimento degli insegnamenti è ac-

compagnato da esercitazioni di laboratorio con eventuali periodi di pratica presso laboratori e stabilimenti industriali.

#### Art. 386

Gli iscritti che non abbiano nel loro curriculum di studio superato un esame di chimica industriale saranno tenuti a superare una prova suppletiva di tale materia.

#### Art. 387

Gli iscritti che al termine del corso avranno superato gli esami di profitto in tutti gli insegnamenti elencati all'art. 384 ed avranno inoltre superato una prova pratica e discusso una dissertazione scelta su materie oggetto del corso, conseguiranno un certificato di frequenza e di esame.

#### Art. 388

Tutte le prove d'esame sono sostenute innanzi a Commissioni nominate dal direttore del corso.

La discussione sulla dissertazione finale è sostenuta innanzi ad una commissione presieduta dal direttore del corso e composta dal preside della Facoltà di Ingegneria, dai docenti del Corso e da cultori della materia in numero complessivo di sette membri.

### — Scuola di specializzazione in ingegneria mineraria.

#### Art. 361

Presso la Facoltà di ingegneria è istituita una scuola biennale di specializzazione in Ingegneria mineraria.

La scuola attua il corso di perfezionamento teorico e pratico previsto per i funzionari della carriera direttiva del ruolo tecnico del Corpo delle miniere, laureati in ingegneria.

## Art. 362

Alla scuola possono essere iscritti, oltre a funzionari ingegneri del Corpo delle miniere i laureati in Ingegneria di qualsiasi corso e laurea.

## Art. 363

Il piano degli studi della scuola è il seguente:

I Anno:

Mineralogia;

Geologia;

Giacimenti minerari;

Geofisica mineraria;

Arte mineraria;

Petrografia (sem.)

II Anno:

Meccanica dei giacimenti di idrocarburi:

Tecnica dei sondaggi;

Legislazione mineraria (sem.);

e due corsi a scelta fra i seguenti:

Impianti minerari;

Preparazione dei minerali;

Meccanica delle rocce;

Produzione e trasporto degli idrocarburi;

Misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi.

## Art. 364

Il direttore della scuola è nominato dal Consiglio della facoltà e si intende confermato anno per anno, salvo contrario provvedimento.

## Art. 365

Gli iscritti alla scuola devono superare gli esami di profitto in tutti gli insegnamenti elencati all'art. 363 nonchè aver frequentato un periodo di tirocinio non inferiore a 60 giorni presso miniere indicate dal Consiglio della scuola. I funzionari ingegneri del corpo delle miniere possono essere dispensati dal tirocinio su richiesta del Ministero dell'industria e del commercio.

## Art. 366

La Commissione di ciascun esame di profitto è composta dal professore della materia, di un altro professore ufficiale e di un cultore della materia o di materia affine.

## Art. 367

Gli iscritti che al termine del corso di studi avranno discusso una dissertazione scelta su una materia oggetto del corso stesso, conseguiranno un diploma di specializzazione in Ingegneria mineraria. Tale discussione dovrà essere sostenuta innanzi ad una Commissione presieduta dal direttore della scuola e composta dal preside della Facoltà di ingegneria, dai docenti della scuola e da cultori della materia in numero complessivo di sette membri.

— *Scuola di specializzazione in ingegneria e tecniche nucleari.*

## Art. 390

Presso la facoltà di ingegneria è istituita una scuola di specializzazione in ingegneria e tecniche nucleari. Essa rilascia:

a) diploma di specializzazione in ingegneria nucleare;

b) diploma di specializzazione in tecnica nucleare;

c) attestato di frequenza e profitto di perfezionamento in ingegneria nucleare.

La durata del corso di studi per il conseguimento dei diplomi di specializzazione di cui ai commi a) e b) del precedente articolo è di due anni accademici.

## Art. 391

Il consiglio dei professori della facoltà di ingegneria nomina il direttore della scuola fra i professori della facoltà di ingegneria o della facoltà di scienze e, su proposta di questi, gli insegnanti.

## Art. 392

Possono essere iscritti alla scuola:

- a) per il conseguimento del diploma di specializzazione in ingegneria nucleare tutti i laureati in ingegneria;
- b) per il conseguimento del diploma di specializzazione in tecnica nucleare tutti i laureati in fisica, in chimica ed in chimica industriale;
- c) per il conseguimento dell'attestato di frequenza e profitto di perfezionamento in ingegneria nucleare i laureati in ingegneria nucleare.

E' data facoltà al consiglio della scuola di consentire l'iscrizione a persone fornite di titolo universitario estero che ad insindacabile giudizio del consiglio stesso, sia ritenuto equipollente alle lauree sopradette, unicamente ai fini dell'ammisione alla scuola.

In ogni caso, tutti gli aspiranti alla iscrizione dovranno sostenere un colloquio atto ad accertare lo stato di preparazione.

## Art. 393

All'inizio dell'anno accademico, il consiglio della scuola, sulla base di una valutazione complessiva del *curriculum* e dei risultati del colloquio, redige l'elenco degli ammessi. Tale numero è limitato a 15 ammessi (complessivamente per i due diplomi ed il certificato di frequenza e profitto), per ogni anno di corso.

## Art. 394

L'ordine degli studi per la specializzazione in ingegneria nucleare prevede un indirizzo volto alla formazione di specializzazione nel progetto dei reattori, l'ordine degli studi per la specializzazione in tecnica nucleare prevede un indirizzo volto alla specializzazione nelle tecnologie relative ai materiali.

Nell'ambito di tali indirizzi potranno essere fissati *curricula* di studi ulteriormente specificati inerenti a particolari aspetti della specializzazione. Essi verranno di volta in volta stabiliti dal direttore della scuola.

## Art. 395

Le materie di insegnamento della scuola sono:

## I Anno:

Metodi matematici dell'ingegneria nucleare;  
Metodi quantistici della fisica nucleare;  
Principi fisici di conversione diretta della energia;  
Scienza dei materiali;  
Teoria molecolare dei gas e dei liquidi.

## II Anno:

Dinamica e controllo dei reattori nucleari;  
Effetti delle radiazioni sui materiali;  
Fisica dei plasm e fusione termonucleare;  
Ingegneria dei sistemi nucleari;  
Ingegneria del reattore nucleare;  
Metodi avanzati di progettazione neutronica dei reattori nucleari;  
Metodi sperimentali di fisica del reattore nucleare.

Durante l'anno accademico verranno tenuti, secondo un piano fissato dal direttore della scuola, udito il consiglio della medesima, colloqui e seminari inerenti alle materie di insegnamento previsti.

## Art. 396

Per il conseguimento del diploma di specializzazione di cui ai comma a) e b) dell'art. 392, gli iscritti dovranno seguire, superando i relativi esami, almeno quattro delle materie previste per il primo anno e quattro di quelle previste per il secondo anno (come sarà indicato, sentito l'iscritto, dal consiglio della scuola). Gli iscritti dovranno inoltre svolgere, durante il secondo anno di corso, un lavoro di ricerca o progetto nell'ambito e per conto della scuola e scrivere sotto forma di tesi una relazione riguardante tale lavoro.

Per l'iscrizione al secondo anno di corso gli iscritti dovranno avere superato gli esami relativi ad almeno tre delle materie previste per il primo anno.

Per il conseguimento dell'attestato di frequenza e profitto di perfezionamento di cui al comma c) dell'art. 392 gli iscritti dovranno seguire, superando i relativi esami, almeno quattro delle sette materie previste nel precedente articolo per il II anno (come sa-

rà indicato, sentito l'iscritto, dal consiglio della scuola).

Gli iscritti inoltre dovranno svolgere un lavoro di ricerca o progetto nell'ambito e per conto della scuola e scrivere, sotto forma di tesi, una relazione riguardante tale lavoro.

## ORGANI UFFICIALI DELLA FACOLTÀ' di cui fanno parte rappresentanti degli studenti

### *Consiglio di Facoltà*

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

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

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

Le elezioni delle rappresentanze studentesche sono indette ogni anno con decreto rettorale; l'elettorato attivo e passivo spetta a tutti gli studenti regolarmente iscritti alla Facoltà — in corso e fuori corso — alla data del decreto. I candidati sono elencati in 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.

La *Commissione per l'esame delle domande degli studenti* istruisce le pratiche riguardanti le domande di iscrizione alla Facoltà. Essa è composta attualmente dai prof.: L. Pentimalli, Presidente (Ist. Chimico), G. Praitoni (Ist. Trasporti), C. Elmi (Ist. Scienze Minerarie), P.R. Ghigi (Ist. Elettrotecnica), A. Andrisano (Ist. Meccanica applicata alle macchine), G.M. Rancoita (Ist. Elettrotecnica), A. Gatta (Ist. Impianti chimici), T. Trombetti (Ist. Fisica del reattore e Tecnologie nucleari).

### *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: Bottau, Artina, Merli, Pratelli; Ing. Meccanica: Medri, Pelloni, Pierfederici; Ing. Elettrotecnica: Simoni, Sasdelli; Ing. Chimica: Chiorboli, Pentimalli, Santarelli; Ing. Mineraria: Ciancabilla, Mezzetti, Paretini; Ing. Elettronica: Bertoni, Calzolari, Faldella, Guidorzi; Ing. Nucleare: Trombetti, Ruggeri, Cesari.

## STRUTTURE DIDATTICO-SCIENTIFICHE

### *Istituti e insegnamenti ad essi afferenti*

#### 1 - *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
- Processi industriali applicati all'edilizia
- Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio
- Storia dell'architettura e dell'urbanistica

Tecnica ed organizzazione dei cantieri  
Tecniche di analisi territoriale

2 - *Istituto di Automatica*

Automazione e organizzazione sanitaria  
Bioautomatica  
Calcolatori elettronici  
Calcolo numerico e programmazione (Civili) (02) (04) (05) (06 L-Z)  
Controlli automatici  
Controlli automatici I  
Controlli automatici II  
Controllo dei processi  
Metodi di ottimizzazione  
Reti logiche  
Ricerca operativa  
Sistemi per l'elaborazione dell'informazione  
Strumentazione biomedica  
Tecnologie dei sistemi di controllo  
Teoria dei sistemi  
Teoria dei sistemi e del controllo

3 - *Istituto Chimico*

Chimica  
Chimica applicata  
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 e chimica applicata

4 - *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

5 - *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

Principi di diritto

6 - *Istituto di Elettronica*

Calcolo numerico e programmazione (03) (07) (06 A-K)

Campi elettromagnetici e circuiti I

Campi elettromagnetici e circuiti II

Comunicazioni elettriche I

Comunicazioni elettriche II

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

Microelettronica

Microonde

Misure elettriche (Elettronici L-Z)

Progettazione automatica dei circuiti elettronici

Radiotecnica

Statistica applicata

7 - *Istituto di Elettrotecnica*

Elettrotecnica

Elettrotecnica I

Elettrotecnica II

Calcolo delle macchine elettriche

Centrali elettriche

Complementi di macchine elettriche

Costruzioni elettromeccaniche

Macchine e impianti elettrici  
Macchine elettriche

8 - *Istituto di Elettrotecnica industriale*

Applicazioni industriali dell'elettrotecnica  
Complementi di misure elettriche  
Economia ed organizzazione aziendale (Elettrotecnici, Elettronici)  
Esercizio delle reti elettriche di energia  
Impianti elettrici  
Materiali speciali per l'elettronica  
Misure elettriche (Elettrotecnici, Elettronici A-K)  
Misure e regolazione degli impianti elettrici  
Tecnica delle alte tensioni  
Tecnologie elettriche

9 - *Istituto di Fisica del reattore e Tecnologie 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  
Fisica I  
Fisica II  
Fisica atomica  
Fisica nucleare  
Misura delle radiazioni e protezione  
Neutronica applicata  
Problemi matematici dei reattori nucleari  
Reattori avanzati  
Strumentazione e regolazione degli impianti nucleari  
Tecnologia dei materiali nucleari

10 - *Istituto di Fisica tecnica*

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

11 - *Istituto di Idraulica*

Idraulica  
Controlli idraulici e pneumatici  
Idraulica fluviale  
Misure e modelli idraulici

**12 - Istituto di Impianti chimici**

Impianti chimici  
Impianti chimici II  
Analisi dei sistemi dell'ingegneria chimica  
Chimica industriale  
Dinamica e controllo delle apparecchiature chimiche  
Principi di ingegneria chimica  
Principi di ingegneria chimica II  
Proprietà termodinamiche e di trasporto  
Tecnologia chimica del disinquinamento  
Teoria e sviluppo dei processi chimici

**13 - Istituto di Impianti meccanici e macchine speciali**

Impianti meccanici  
Disegno (Chimici)  
Impianti nucleari  
Impianti tecnici industriali  
Meccanica delle macchine e macchine

**14 - Istituto di Macchine**

Macchine  
Complementi di macchine  
Dinamica e controllo delle macchine a fluido  
Disegno (Meccanici, Minerari)  
Disegno (Elettrotecnici, Nucleari)  
Generatori di vapore  
Meccanica applicata alle macchine e macchine  
Misure meccaniche e termiche

**15 - Istituto di Matematica applicata**

Analisi matematica I  
Analisi matematica II  
Analisi numerica  
Complementi di matematiche  
Geometria  
Meccanica razionale

**16 - Istituto di Meccanica applicata alle macchine**

Meccanica applicata alle macchine  
Meccanica delle macchine  
Costruzione di macchine  
Complementi di costruzione di macchine  
Complementi di meccanica applicata  
Costruzioni nucleari  
Disegno (Elettronici)

Disegno II (Meccanici, Minerari)  
 Progettazione assistita di strutture meccaniche

17 - *Istituto di Progetti di macchine, Tecnologie meccaniche e*

*Costruzioni aeronautiche*

Progetti di macchine

Tecnologia meccanica

Costruzioni aeronautiche

Aerodinamica

Analisi sperimentale delle tensioni

Cicli di fabbricazione

Costruzione di apparecchiature chimiche

Costruzione di macchine automatiche

Economia ed organizzazione aziendale (Meccanici, Civili)

Macchine utensili

Organizzazione della produzione

Scienza dei metalli

Tecnologia dei materiali

Tecnologie generali

18 - *Istituto di Scienza delle costruzioni*

Scienza delle costruzioni

Analisi strutturale con l'elaboratore elettronico

Complementi di scienza delle costruzioni

19 - *Istituto di Scienze minerarie*

Arte mineraria

Giacimenti minerari

Idrogeologia applicata

Impianti minerari

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

20 - *Istituto di tecnica delle costruzioni*

Tecnica delle costruzioni

Complementi di tecnica delle costruzioni

Costruzione di ponti

Tecnica delle fondazioni

21 - *Istituto di tecnica ed economia dei trasporti*

Tecnica ed economia dei trasporti

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

22 - *Istituto di Topografia, Geodesia e Geofisica mineraria*  
Topografia  
Geofisica mineraria

*Insegnamenti non annessi ad Istituti della Facoltà*

*Istituto di Geologia della Facoltà di Scienze*  
Geologia  
Litologia e geologia

*Istituto di Mineralogia della Facoltà di Scienze*  
Mineralogia e petrografia

ELENCO DEGLI INSEGNAMENTI DELLA FACOLTA' a.a. 1982/83  
(equivalenze con insegnamenti del vecchio ordinamento sono riportate a pag. 33)

<i>Biennio propedeutico</i>			<i>pag.</i>
1349 ANALISI MATEMATICA I	(civili)	S. Matarasso	83
1350 ANALISI MATEMATICA I	(meccanici, minerari)	C. Ravaglia	151
1351 ANALISI MATEMATICA I	(elettr., chimici, nucleari)	L. Pezzoli	186
1352 ANALISI MATEMATICA I	(elettronici)	B.R. Bellomo	268
1353 ANALISI MATEMATICA II	(civili)	A. Malferrari	83
1354 ANALISI MATEMATICA II	(meccanici, minerari)	E. Obrecht	152
1355 ANALISI MATEMATICA II	(elettr., chimici, nucleari)	G. Fanti	187
1356 ANALISI MATEMATICA II	(elettronici)	L. Cerofolini	269
4501 CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	(elettrotecnici, nucleari)	L. Ambrosini	190
6464 CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	(elettronici A-K)	P. Tiberio	273
6464 CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	(elettronici L-Z)	P. Toth	273
1357 CHIMICA	(civili)	B. Fortunato	84
1358 CHIMICA	(meccanici, minerari)	L. Greci	153
1359 CHIMICA	(elettrotecnici, nucleari)	G. Milani	191
1360 CHIMICA	(chimici)	P. Manaresi	221
1361 CHIMICA	(elettronici)	F. Zignani	277
92 CHIMICA APPLICATA	(meccanici, minerari)	V. Passalacqua	154
6792 CHIMICA APPLICATA	(chimici)	L. Pentimalli	223
148 CHIMICA ORGANICA	(chimici)	L. Marchetti	230
1362 DISEGNO	(civili)	V. Valeriani	85
1363 DISEGNO	(meccanici A-K, minerari)	G. Cantore	163
1363 DISEGNO	(meccanici L-Z)	G. Ferretti	163
1364 DISEGNO	(elettrotecnici, nucleari)	R. Bertocchi	196
1365 DISEGNO	(elettronici A-K)	F. Terragni	286
1365 DISEGNO	(elettronici L-Z)	A. Strozzi	286
4685 DISEGNO	(chimici)	G. Coli	233
3656 DISEGNO II	(08, ind. 1,2,6,7,8)	G. Praderio	86
3656 DISEGNO II	(08, ind. 3,4,5) (09) (10)	A. Pratelli	87
3781 DISEGNO II	(meccanici A-K, minerari)	G. Conti	164
3781 DISEGNO II	(meccanici L-Z)	E. Prati	164
1366 FISICA I	(civili)	I. Massa	89
1367 FISICA I	(meccanici, minerari)	A. Vitale	167
1368 FISICA I	(elettr., chimici, nucleari)	E. Verondini	201
1369 FISICA I	(elettronici A-K)	F. Verniani	295
1369 FISICA I	(elettronici L-Z)	G. Vannini	295
1370 FISICA II	(civili)	A. Bertin	90
1371 FISICA II	(meccanici, minerari)	P. Bassi	168
1373 FISICA II	(elettr., chimici, nucleari)	F. Saporetto	202
1372 FISICA II	(elettronici A-K)	C. Maroni	296
1372 FISICA II	(elettronici L-Z)	A. Gandolfi	296

			<i>pag.</i>
406 FISICA ATOMICA	(nucleari)	A. Uguzzoni	331
1374 GEOMETRIA	(civili)	C. Tinaglia	91
1375 GEOMETRIA	(meccanici, minerari)	L. Molinari	170
1376 GEOMETRIA	(elettr., chimici, nucleari)	L. Cavalieri D'Oro	204
1377 GEOMETRIA	(elettronici)	A. Matteuzzi	298
661 LITOLOGIA E GEOLOGIA	(civili)	G.C. Carloni	92
1378 MECCANICA RAZIONALE	(civili)	L. Caprioli	93
1379 MECCANICA RAZIONALE	(meccanici, minerari)	C. Tebaldi	176
1380 MECCANICA RAZIONALE	(elettr., chimici, nucleari)	T.A. Ruggeri	211
1381 MECCANICA RAZIONALE	(elettronici)	F. Abati Marescotti	303
2004 METODI DI OSSERVAZIONE E MISURA (elettronici, elettr.)		M. Zoboli	304
5725 MINERALOGIA E PETROGRAFIA (minerari)		R. Mezzetti	261
1043 TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA (civili)		L. Cini	94
1044 TECNOLOGIA DEI MATERIALI NUCLEARI (nucleari)		P. Strocchi	344

*Triennio di applicazione*

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

2006 ACQUEDOTTI E FOGNATURE (semestrale) (08)		P. Guerrini	114
5564 ACUSTICA APPLICATA E ILLUMINOTECNICA (08)		R. Pompili	114
02 AERODINAMICA (02) (09)			151
5801 ANALISI DEI SISTEMI DELL'INGEGNERIA CHIMICA (04)		G. Spadoni	219
4524 ANALISI NUMERICA (06)		C. Corradi	270
4117 ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI (02)		A. Freddi	153
5565 ANALISI STRUTTURALE CON L'ELABORATORE ELETTRONICO (08)		A. Tralli	116
2237 APPLICAZIONI INDUSTRIALI DELL'ELETTROTECNICA (03)		M. Loggini	188
50 ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA (08)		L. Lugli	117
51 ARCHITETTURA TECNICA (08, ind. 1,2,6,7,8)		I. Tagliaventi	96
51 ARCHITETTURA TECNICA (08, ind. 3,4,5) (09) (10)		A.C. Dell'Acqua	97
54 ARTE MINERARIA (05)		D. Vitali	252
1679 AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE SANITARIA (06)		G. Gnudi	271
3569 BIOAUTOMATICA (06)		E. Belardinelli	272
3716 CALCOLATORI ELETTRONICI (06)		M. Boari	272
81 CALCOLO DELLE MACCHINE ELETTRICHE (03)		A. Grande	189
6461 CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE (08)		S. Martello	119
6462 CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE (02) (04) (05)		A. Natali	220
5698 CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI I (06 A-K)		G.C. Corazza	275
5698 CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI I (06 L-Z)		C.G. Someda	275
5699 CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI II (06)		V. Rizzoli	276
85 CARATTERI DISTRIBUTIVI DEGLI EDIFICI (08)		G. Trebbi	120
86 CENTRALI ELETTRICHE (03)		N. Negrini	190
115 CHIMICA E TECNOLOGIA DEI PRODOTTI CERAMICI (04)		C. Palmonari	224
122 CHIMICA FISICA (04)		P. Chiorboli	225
6465 CHIMICA FISICA (per Elettronici) (06)		A. Desalvo	278
5693 CHIMICA FISICA DEI MATERIALI ELETTRICI (03)		F. Sandrolini	192
2046 CHIMICA FISICA DEI MATERIALI NUCLEARI (07)		D. Nobili	321
4123 CHIMICA FISICA DEI POLIMERI (04)		F. Pilati	227

	<i>pag.</i>
137 CHIMICA INDUSTRIALE (04)	F. Magelli 228
4120 CICLI DI FABBRICAZIONE (02)	P. Bariani 156
6466 CICLO DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE (07)	G. Cicognani 323
6471 CODICI DI CALCOLO PER REATTORI NUCLEARI (07)	A. Chiarini 324
2826 COMBUSTIBILI NUCLEARI (07)	L. Bruzzi 325
2022 COMPLEMENTI DI COSTRUZIONE DI MACCHINE (02)	G.L. Medri 157
5797 COMPLEMENTI DI COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (08)	A. Bucchi 121
6805 COMPLEMENTI DI IDROLOGIA (09)	135
2018 COMPLEMENTI DI MACCHINE (02)	G. Minelli 158
4118 COMPLEMENTI DI MACCHINE ELETTRICHE (03)	G.M. Rancoita 193
189 COMPLEMENTI DI MATEMATICHE (06 A-K)	F. Rossi Tesi 279
189 COMPLEMENTI DI MATEMATICHE (06 L-Z)	G.C. Barozzi 279
6472 COMPLEMENTI DI MECCANICA APPLICATA (02)	U. Meneghetti 159
4122 COMPLEMENTI DI MISURE ELETTRICHE (03)	M. Gasparini 194
4127 COMPLEMENTI DI NEUTRONICA (07)	V. Molinari 326
2816 COMPLEMENTI DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (08)	F. Laudiero 122
2010 COMPLEMENTI DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI (civili)	C. Ceccoli 97
1956 COMPLEMENTI DI TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI (10)	A. Orlandi 145
2009 COMPLEMENTI DI TECNICA URBANISTICA (08) (10)	S. Casini 123
4179 COMUNICAZIONI ELETTRICHE I (06 A-K)	L. Calandrino 280
4179 COMUNICAZIONI ELETTRICHE I (06 L-Z)	G. Immovilli 280
5700 COMUNICAZIONI ELETTRICHE II (06)	G. Corazza 281
4125 CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI (09) (10) (05)	A. Bucchi 135
196 CONTROLLI AUTOMATICI (03) (07)	G. Marro 194
3694 CONTROLLI AUTOMATICI I (06 A-K)	E. Sarti 282
3694 CONTROLLI AUTOMATICI I (06 L-Z)	E. Belardinelli 282
3695 CONTROLLI AUTOMATICI II (06)	G. Bertoni 283
2015 CONTROLLI IDRAULICI E PNEUMATICI (09)	A. Rubatta 136
4126 CONTROLLO DEI PROCESSI (06)	C. Bonivento 284
2030 COSTRUZIONE DI APPARECCHIATURE CHIMICHE (04)	V. Dal Re 230
201 COSTRUZIONE DI MACCHINE (02)	G. Favretti 160
5798 COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE (02)	G. Vassura 161
198 COSTRUZIONE DI PONTI (civili)	P. Pozzati 98
204 COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI (civili)	P.V. Righi 99
199 COSTRUZIONI AERONAUTICHE (02) (10)	F. Persiani 162
1384 COSTRUZIONI DI MACCHINE (07) (03)	P.G. Molari 327
205 COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE (03) (07)	G. Piazzì 195
206 COSTRUZIONI IDRAULICHE (09)	B. Poggi 136
2014 COSTRUZIONI MARITTIME E FLUVIALI (09)	F. Zoccoli 138
4128 COSTRUZIONI NUCLEARI (07)	S. Curioni 328
5690 COSTRUZIONI PER L'INDUSTRIA (08) (03) (04)	C. Comani 125
4131 DIFESA E CONSERVAZIONE DEL SUOLO (08) (09) (05)	A. Bizzarri 139
4129 DINAMICA E CONTROLLO DELLE APPARECCHIATURE CHIMICHE (04)	G. Pasquali 232
6468 DINAMICA E CONTROLLO DELLE MACCHINE A FLUIDO (02)	C. Bonacini 163
251 ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (03) (06)	D. Zanobetti 197
251 ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (02) (08)	G. Bartolozzi 165
4001 ELEMENTI DI ARCHITETTURA TECNICA (08)	G. Cuppini 126
6469 ELEMENTI DI INGEGNERIA DEL REATTORE NUCLEARE (07)	F. Pierantoni 330

	<i>pag.</i>
270 ELETTRONICA APPLICATA (03)	V.A. Monaco 198
2438 ELETTRONICA APPLICATA I (06 A-K)	S. Graffi 288
2438 ELETTRONICA APPLICATA I (06 L-Z)	P.U. Calzolari 288
5809 ELETTRONICA APPLICATA II (già Tecnica degli impulsi) (06 A-K)	G. Baccarani 289
5809 ELETTRONICA APPLICATA II (già Tecnica degli impulsi) (06 L-Z)	B. Riccò 289
4314 ELETTRONICA APPLICATA III (06)	E. De Castro 290
2037 ELETTRONICA INDUSTRIALE (06)	E. Faldella 291
271 ELETTRONICA NUCLEARE (07)	V.A. Monaco 331
2034 ELETTRONICA QUANTISTICA (06)	M. Rudan 292
275 ELETTRONICA (civili A-K)	C. Tassoni 100
275 ELETTRONICA (civili L-Z)	R. Miglio 100
6794 ELETTRONICA (02)	E. Sacchetti 166
6793 ELETTRONICA (04) (07)	M.L. Ambrosini 234
277 ELETTRONICA I (03)	F. Barozzi 199
6795 ELETTRONICA I (06 A-K)	F. Ciampolini 293
6795 ELETTRONICA I (06 L-Z)	P.R. Ghigi 293
279 ELETTRONICA II (03)	R. Troili 200
6807 ELETTRONICA II (06)	U. Reggiani 294
5695 ESERCIZIO DELLE RETI ELETTRICHE DI ENERGIA (03)	G. Malaman 201
409 FISICA DEL REATTORE NUCLEARE (07)	V. Boffi 333
422 FISICA NUCLEARE (07)	V. Benzi 334
430 FISICA TECNICA (civili) (05)	G. Raffellini 101
6796 FISICA TECNICA (02)	A. Cocchi 169
6797 FISICA TECNICA (03) (04) (07)	I. Di Federico 203
6798 FISICA TECNICA (06)	S. Salvigni 297
447 FONDAMENTI DI ECONOMIA ED ESTIMO (08) (10)	P. Carrer 102
5517 GENERATORI DI VAPORE (02)	S. Sandrolini 169
454 GEOFISICA MINERARIA (05)	D. Postpischl 254
464 GEOLOGIA (05)	C. Elmi 255
2007 GEOTECNICA (semestrale) (civili)	P.V. Righi 104
5573 GESTIONE DELL'INFORMAZIONE (06)	G. Valle 299
482 GIACIMENTI MINERARI (05)	G. Simboli 256
490 IDRAULICA (civili A-K) (05)	A. Lamberti 105
490 IDRAULICA (civili L-Z)	A. Rubatta 105
6799 IDRAULICA (02)	G. Scarpi 171
6800 IDRAULICA (03) (07)	G.L. Bragadin 204
5566 IDRAULICA FLUVIALE (09)	F. Ciancabilla 257
4135 IDROGEOLOGIA APPLICATA (semestrale) (05)	P. Guerrini 141
496 IDROLOGIA E IDROGRAFIA (09) (05)	U. Lelli 236
501 IMPIANTI CHIMICI (04)	A. Gatta 237
502 IMPIANTI CHIMICI II (04)	M. Pezzi 205
5843 IMPIANTI ELETTRICI (03)	D. Zanobetti 300
504 IMPIANTI ELETTRICI (06)	F. Zoccoli 142
5691 IMPIANTI IDRAULICI (09)	F. Zoccoli 142
4134 IMPIANTI IDROELETTRICI E DI RIVALUTAZIONE DELL'ENERGIA (03)	P. Lamberti 206
515 IMPIANTI MECCANICI (02)	S. Fabbri 172
516 IMPIANTI MINERARI (05)	D. Vitali 258
517 IMPIANTI NUCLEARI (07)	E. Sobrero 334

	<i>pag.</i>
522 IMPIANTI TECNICI CIVILI (08)	E. Tartarini 126
6541 IMPIANTI TECNICI INDUSTRIALI (02)	O. Pierfederici 173
4138 LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE (06)	F. Bonfatti 301
4022 MACCHINE (02)	C. Bonacini 174
663 MACCHINE (03) (04) (05)	S. Fabbri 207
4313 MACCHINE (07)	G. Negri di Montenegro 335
665 MACCHINE E IMPIANTI ELETTRICI (07)	F. Negrini 336
666 MACCHINE ELETTRICHE (03)	B. Brunelli 209
670 MACCHINE UTENSILI (02)	A. Andrisano 174
5696 MATERIALI SPECIALI PER L'ELETTROTECNICA (03)	E. Goracci 209
687 MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (02)	E. Funaioli 175
1385 MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (03) (04) (05)	V. Parenti Castelli 210
688 MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE E MACCHINE (civili)	G. Negri di Montenegro 105
690 MECCANICA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI (05) (09)	G. Brighenti 259
2631 MECCANICA DELLE MACCHINE (07)	A. Maggiore 337
2632 MECCANICA DELLE MACCHINE E MACCHINE (06)	A. Pareschi 302
4114 MECCANICA DELLE ROCCE (05)	A. Paretini 260
2021 METALLURGIA E METALLOGRAFIA (04)	G. Poli 239
5701 METODI DI OTTIMIZZAZIONE (06)	M. Tibaldi 306
5702 MICROELETTRONICA (06)	G. Soncini 307
2191 MICROONDE (06)	G. Falciasacca 308
730 MISURA DELLE RADIAZIONI E PROTEZIONE (07)	P. Amadesi 338
731 MISURE E CONTROLLI NEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI (05)	G.L. Chierici 262
732 MISURE ELETTRICHE (03)	A. Burchiani 212
1386 MISURE ELETTRICHE (06 A-K)	M. Rinaldi 309
1386 MISURE ELETTRICHE (06 L-Z)	A. Menchetti 309
2013 MISURE E MODELLI IDRAULICI (09)	F. Lazzari 143
5697 MISURE E REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTI ELETTRICI (03)	D. Mirri 212
1140 MISURE MECCANICHE E TERMICHE (02)	G. Minelli 177
4140 NEUTRONICA APPLICATA (07)	P. Trombetti 340
2020 ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE (02)	F. Giacomazzi 178
5567 PIANIFICAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE (09)	E. Todini 143
805 PREPARAZIONE DEI MINERALI (05)	F. Ciancabilla 263
812 PRINCIPI DI DIRITTO (semestrale) (08)	M. Bernardini 127
814 PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA (04)	F. Foraboschi 240
4641 PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II (04)	F. Santarelli 241
5804 PROBLEMI MATEMATICI DEI REATTORI NUCLEARI (07)	G. Spiga 341
5568 PROCESSI INDUSTRIALI APPLICATI ALL'EDILIZIA (08)	F. Nuti 128
816 PRODUZIONE E TRASPORTO DEGLI IDROCARBURI (05)	G. Gottardi 264
5799 PROGETTAZIONE ASSISTITA DI STRUTTURE MECCANICHE (02)	P.G. Molari 179
5803 PROGETTAZIONE AUTOMATICA DEI CIRCUITI ELETTRONICI (06)	F. Filicori 309
818 PROGETTI DI MACCHINE (02)	G. Bartolozzi 180
5569 PROGRAMMAZIONE DELLO SVILUPPO E DELL'ASSETTO DEL TERRITORIO (08)	A. Corlaita 129
5802 PROPRIETA' TERMODINAMICHE E DI TRASPORTO (04)	G.C. Sarti 243
877 RADIOTECNICA (06)	G.C. Corazza 311
6806 REATTORI AVANZATI (07)	F. Premuda 342

	<i>pag.</i>
5579 RETI LOGICHE (06 A-K)	R. Laschi 312
5579 RETI LOGICHE (06 L-Z)	G. Neri 312
884 RICERCA OPERATIVA (06) (10)	G. Carpaneto 313
2235 SCIENZA DEI MATERIALI (04)	F. Sandrolini 245
886 SCIENZA DEI METALLI (02)	G. Cammarota 181
891 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (civili A-K)	M. Capurso 106
890 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (civili L-Z)	A. Cannarozzi 106
6801 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (02) (03) (04) (07)	A. Di Tommaso 213
6802 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (06)	E. D'Anna 314
3980 SISTEMI PER L'ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE (06)	R. Rossi 315
2038 STATISTICA APPLICATA (06)	A. Tonielli 316
5570 STORIA DELL'ARCHITETTURA E DELL'URBANISTICA (08)	
4152 STRUMENTAZIONE BIOMEDICA (06)	G. Avanzolini 317
1143 STRUMENTAZIONE CHIMICA (04)	L. Marchetti 246
6470 STRUMENTAZIONE E REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTI NUCLEARI (07)	F. Cesari 343
5819 SVILUPPO E DISEGNO DEGLI IMPIANTI CHIMICI (04)	W. Neri 247
1019 TECNICA DEI SONDAGGI (05) (09)	G. Brighenti 265
2011 TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE (10) (08) (02) (03)	G. Praitoni 147
5705 TECNICA DELLA PROGETTAZIONE IDRAULICA (09)	S. Artina 144
4153 TECNICA DELLE ALTE TENSIONI (03)	G. Pattini 214
1026 TECNICA DELLE COSTRUZIONI (civili A-K)	P. Pozzati 107
1026 TECNICA DELLE COSTRUZIONI (civili L-Z)	R. Alessi 107
2008 TECNICA DELLE FONDAZIONI (semestrale) (civili) (05)	M. Merli 109
1031 TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI (10) (08) (02) (03)	A. Orlandi 148
5572 TECNICA ED ORGANIZZAZIONE DEI CANTIERI (08)	F. Spina 132
1034 TECNICA URBANISTICA (08, ind. 1,2,6,7,8)	C. Monti 110
1034 TECNICA URBANISTICA (08, ind. 3,4,5) (09) (10)	G. Crocioni 110
5571 TECNICA DI ANALISI TERRITORIALE (08)	P. Secondini 133
6529 TECNOLOGIA CHIMICA DEL DISINQUINAMENTO (04)	F. Foraboschi 248
2224 TECNOLOGIA DEI MATERIALI (02)	D. Veschi 182
1037 TECNOLOGIA MECCANICA (02 A-K)	F. Soavi 183
1037 TECNOLOGIA MECCANICA (02 L-Z)	O. Zurlo 183
5574 TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO (06)	G. Marro 318
1046 TECNOLOGIE ELETTRICHE (03)	L. Simoni 215
2049 TECNOLOGIE GENERALI (07) (03) (04)	G. Favretti 346
4115 TEORIA DEI SISTEMI (06 A-K)	R. Guidorzi 319
4115 TEORIA DEI SISTEMI (06 L-Z)	S. Beghelli 319
TEORIA DEI SISTEMI (07)	G. Basile 347
5692 TEORIA DEI SISTEMI E DEL CONTROLLO (civili)	G. Capitani Catelli 112
1142 TEORIA E SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI (04)	C. Stramigioli 250
1059 TERMOTECNICA DEL REATTORE (07)	E. Lorenzini 348
1061 TOPOGRAFIA (civili A-K)	G. Folloni 112
1061 TOPOGRAFIA (civili L-Z)	M. Unguendoli 112
TOPOGRAFIA (05)	L. Pieri 266
1068 TRAZIONE ELETTRICA (03)	E. Masi 216
2016 TRAZIONE E PROPULSIONE (10) (02)	P. Camposano 149

## 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*

4501	Calcolo numerico e programmazione	(189)	Complementi di matematiche (per Elettrot.)
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 speciali 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

*Ingegneria Chimica*

5801	Analisi dei sistemi dell'ingegneria chimica	(4124)	Complementi di chimica industriale
6462	Calcolo numerico e programmazione	(83)	Calcolo elettronico
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

*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

(segue)

4314 Elettronica applicata III	(2439) Elettronica applicata II
5701 Metodi di ottimizzazione	(4132) Elementi di analisi funzionale
5702 Microelettronica	(2039) Tecnologie dei semiconduttori
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 PER L'ANNO ACCADEMICO 1982-83

### LEZIONI

#### a) *Insegnamenti a svolgimento intensivo*

Gli insegnamenti vengono impartiti in due cicli di lezioni:

- I ciclo: dal 2 novembre 1982 al 8 febbraio 1983 (con 15 giorni di vacanze natalizie: 19 dicembre - 2 gennaio).  
 II ciclo: dal 7 marzo 1983 al 5 giugno 1983 (con 6 giorni di vacanze pasquali: 31 marzo - 5 aprile 1983).

#### b) *Insegnamenti a svolgimento estensivo*

- I anno: dal 2 novembre 1982 al 28 maggio 1983 (con vacanze natalizie e pasquali come per i corsi intensivi), ad eccezione di Disegno (per Elettronici).  
 II, III, IV, V anno: e (1365) Disegno I anno (per Elettronici) le lezioni verranno tenute negli stessi periodi di quelle dei cicli intensivi, con la stessa interruzione a febbraio/marzo e con le stesse vacanze.

## CALENDARIO ESAMI DI PROFITTO ANNO ACCADEMICO 1982-83

- 1) Sessione invernale a.a. 1981-82: 1 febbraio - 28 febbraio 1983 prorogabile fino al 31 marzo 1983.
- 2) Anticipo sessione estiva a.a. 1982-83: inizio 7 febbraio 1983 per gli esami delle materie del primo ciclo ed il giorno successivo al termine ufficiale della sessione invernale per gli esami in debito.
- 3) Sessione estiva a.a. 1982-83: inizio 6 giugno 1983, termine 31 luglio 1983.
- 4) Sessione autunnale a.a. 1982-83: si svolgerà secondo il calendario ufficiale dell'ateneo.

Si fa notare che la sessione invernale ha termine inderogabilmente il 31 marzo e che in tale sessione è consentito sostenere solamente due esami (ad eccezione degli studenti fuori corso da oltre un anno).

#### *Esami di laurea*

Gli appelli degli esami di Laurea sono fissati come segue:

1982: 15 Dicembre,

1983: 23 Febbraio, 23 Marzo, 29 Giugno, 20 Luglio, 27 Ottobre.

## PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1982-83

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	50 204	Architettura e composizione architettonica Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti				
Quattro materie dell'indirizzo di specializzazione scelto						
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	1. Indirizzo Architettura A					
	85	Caratteri distributivi degli edifici (V)	5690	Costruzioni per l'industria (V)	5568	Processi industriali applicati alla edilizia (V)
	4001	Elementi di architettura tecnica (III)				
	522	Impianti tecnici civili (V)				
	5570	Storia dell'architettura e dell'urbanistica (IV)				
	2. Indirizzo Architettura B					
	85	Caratteri distributivi degli edifici (V)			251	Economia e organizzazione aziendale (V)
	4001	Elementi di architettura tecnica (III)				
	5570	Storia dell'architettura e dell'urbanistica (IV)				
5572	Tecnica ed organizzazione dei cantieri (V)					
				5568	Processi industriali applicati alla edilizia (V)	

(segue)

## PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1982-83

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		<b>3. Indirizzo Territorio A</b>					
		2009	Complementi di tecnica urbanistica (V)	4131	Difesa e conservazione del suolo (IV)	1956	Complementi di tecnica ed economia dei trasporti (V)
		5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)	5692	Teoria dei sistemi e del controllo (III)	2011	Tecnica della circolazione (V)
		5571	Tecniche di analisi territoriale (V)	1031	Tecnica ed economia dei trasporti (IV)		
		<b>4. Indirizzo Territorio B</b>					
		2009	Complementi di tecnica urbanistica (V)	812	Principi di diritto (sem.) (III)	2006	Acquedotti e fognature (sem.) (IV)
		5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)	1031	Tecnica ed economia dei trasporti (IV)	1956	Complementi di tecnica ed economia dei trasporti (V)
		5571	Tecniche di analisi territoriale (V)			2011	Tecnica della circolazione (V)
		<b>5. Indirizzo Architettura - Urbanistica</b>					
		85	Caratteri distributivi degli edifici (V)			5568	Processi industriali applicati alla edilizia (V)
		2009	Complementi di tecnica urbanistica (V)				
		4001	Elementi di architettura tecnica (III)				
		5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)				
		5570	Storia dell'architettura e dell'urbanistica (IV)				
		<b>6. Indirizzo Costruzioni A</b>					
		5565	Analisi strutturale con elaboratore elettronico (V)	2816	Complementi di scienza delle costruzioni (IV)	6461	Calcolo numerico e programmazione (III)
		2010	Complementi di tecnica delle costruzioni (V)	2007	Geotecnica (sem.) (IV)	2008	Tecnica delle fondazioni (sem.) (V)
		198	Costruzione di ponti (V)				
		<b>7. Indirizzo Costruzioni B</b>					
		2010	Complementi di tecnica delle costruzioni (V)	2816	Complementi di scienza delle costruzioni (IV)	2008	Tecnica delle fondazioni (sem.) (V)
		4001	Elementi di architettura tecnica (III)	2007	Geotecnica (sem.) (IV)	5568	Processi industriali applicati alla edilizia (V)
		5572	Tecnica ed organizzazione dei cantieri (V)				
		<b>8. Indirizzo Impianti</b>					
		2009	Complementi di tecnica urbanistica (V)	5564	Acustica applicata e illuminazione tecnica (V)	2006	Acquedotti e fognature (sem.) (IV)
4001	Elementi di architettura tecnica (III)	812	Principi di diritto (sem.) (III)				
522	Impianti tecnici civili (V)						
5572	Tecnica ed organizzazione dei cantieri (V)						

Due insegnamenti semestrali sono equivalenti ad un insegnamento annuale.

I numeri romani accanto ai titoli delle materie indicano l'anno di corso di appartenenza.

La Facoltà si riserva di apportare modifiche al presente piano di studi qualora si rendesse necessario in conseguenza della applicazione del D.P.R. 11.7.1980 n. 382.

## PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1982-83

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		
<b>Due materie annuali dell'indirizzo di specializzazione scelto**</b>						
V anno	204 5691 5705	Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti Impianti idraulici Tecnica della progettazione idraulica				
<b>Tre materie dell'indirizzo di specializzazione scelto</b>						
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	2014 2010 198	Costruzioni marittime e fluviali (IV) Complementi di tecnica delle costruzioni (V) Costruzione di ponti (V)	2007 4131	Geotecnica (sem.) (IV) Difesa e conservazione del suolo (V)	2008	Tecnica delle fondazioni (sem.) (IV)
				<b>2. Indirizzo Idraulica Teorica</b>	2 5566	Aerodinamica (V) Idraulica fluviale (IV)
			2015 690 2013	Controlli idraulici e pneumatici (V) Meccanica dei giacimenti di idrocarburi (IV) Misure e modelli idraulici (V)		
				<b>3. Indirizzo Impiantistico</b>	5566	Idraulica fluviale (IV)
	522	Impianti tecnici civili (V)	2015 2013 1019	Controlli idraulici e pneumatici (V) Misure e modelli idraulici (V) Tecnica dei sondaggi (IV)		
				<b>4. Indirizzo Territorio</b>	5567	Pianificazione delle risorse idriche (V)
	5569	Programmazione dello sviluppo e dell'assetto del territorio (V)	6805 4125 4131 5692	Complementi di idrologia (V) Consolidamento dei terreni (IV) Difesa e conservazione del suolo (V) Teoria dei sistemi e del controllo (IV)		

\*\* Per l'indirizzo costruzioni: una materia annuale e due semestrali.

I numeri romani accanto ai titoli delle materie indicano l'anno di corso di appartenenza.

La Facoltà si riserva di apportare modifiche al presente piano di studi qualora si rendesse necessario in conseguenza della applicazione del D.P.R. 11.7.1980 n. 382.

## PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1982-83

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE EDILE (SEZ. TRASPORTI) - COD. 2010						
Anno di corso	Corsi a svolgimento estensivo			Corsi a svolgimento intensivo		
	N. cod.		N. cod.	I ciclo	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	447 Fondamenti di economia ed estimo	
Può essere anticipata una materia dell'indirizzo di specializzazione scelto						
V anno	198 204	Costruzione di ponti Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti				
Quattro materie dell'indirizzo di specializzazione scelto						
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	<b>1. Indirizzo Costruzioni</b>					
	2010	Complementi di tecnica delle costruzioni (V)	4125 2007 5692	Consolidamento dei terreni (V) Geotecnica (sem.) (IV) Teoria dei sistemi e del controllo (III)	1956 2008 5797	Complementi di tecnica ed economia dei trasporti (V) Tecnica delle fondazioni (sem.) (V) Complementi di costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti (V)
	<b>2. Indirizzo Territorio</b>					
	2009	Complementi di tecnica urbanistica (V)	5692	Teoria dei sistemi e del controllo (III)	1956	Complementi di tecnica ed economia dei trasporti (V)
	2014	Costruzioni marittime e fluviali (V)			2011	Tecnica della circolazione (V)
	<b>3. Indirizzo Trazione</b>					
			5692	Teoria dei sistemi e del controllo (III)	1956	Complementi di tecnica ed economia dei trasporti (V)
			199	Costruzioni aeronautiche (V)	2011	Tecnica della circolazione (V)
			2016	Trazione e propulsione (V)		

I numeri romani accanto ai titoli delle materie indicano l'anno di corso di appartenenza.

La Facoltà si riserva di apportare modifiche al presente piano di studi qualora si rendesse necessario in conseguenza della applicazione del D.P.R. 11.7.1980 n. 382.

## PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1982-83

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA - COD. 2002						
Anno di corso	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 6799	Elettrotecnica Fisica tecnica Idraulica	687 6801 1037	Meccanica applicata alle macchine Scienza delle costruzioni Tecnologia meccanica
IV anno			201 1140	Costruzione di macchine Misure meccaniche e termiche	251 4022 670	Economia ed organizzazione aziendale Macchine Macchine utensili
<b>Una materia dell'indirizzo di specializzazione scelto</b>						
V anno			2018 818 6468	Complementi di macchine Progetti di macchine Dinamica e controllo delle macchine a fluido	515	Impianti meccanici
<b>Tre materie dell'indirizzo di specializzazione scelto</b>						
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE			<b>1. Indirizzo Costruttivo</b>			
			4117	Analisi sperimentale delle tensioni (V anno)	2022	Complementi di costruzione di macchine (IV anno)
			6462	Calcolo numerico e progr. (IV anno)	5798	Costruzione di macchine automatiche (V anno)
			199	Costruzioni aeronautiche (V anno)	5799	Progettazione assistita di strutture meccaniche (V anno)
			2224	Tecnologia dei materiali (IV anno)		
			6472	Complementi di meccanica applicata (V)		
			<b>2. Indirizzo Impiantistico</b>			
			6462	Calcolo numerico e progr. (IV anno)	02	Aerodinamica (IV)
			2020	Organizzazione della produzione (V anno)	5517 6541	Generatori di vapore (V anno) Impianti tecnici industriali (V anno)
			<b>3. Indirizzo Tecnologico - Organizzativo</b>			
			4117	Analisi sperimentale delle tensioni (V anno)	4120	Cicli di fabbricazione (V anno)
			6462	Calcolo numerico e progr. (IV anno)	5798	Costruzione di macchine automatiche (V anno)
			2020	Organizzazione della produzione (V anno)		
			2224	Tecnologia dei materiali (IV anno)		
			886	Scienza dei metalli (IV anno)		
			<b>4. Indirizzo Trasporti</b>			
			6462	Calcolo numerico e progr. (IV anno)	02 2011	Aerodinamica (IV anno) Tecnica della circolazione (V anno)
			199	Costruzioni aeronautiche (V anno)		
			1031	Tecnica ed economia dei trasporti (IV anno)		
		2016	Trazione e propulsione (V anno)			

La Facoltà si riserva di apportare modifiche al presente piano di studi qualora si rendesse necessario in conseguenza della applicazione del D.P.R. 11.7.1980 n. 382.

## PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1982-83

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	1351 1359 1364 1368 1376	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica I Geometria				
II anno	1355 1373 1380	Analisi matematica II Fisica II Meccanica razionale			2004 4501	Metodi di osservazione e misura (1) Calcolo numerico e programmazione
III anno			277 430 6800	Elettrotecnica I Fisica tecnica Idraulica	1385 279 6801	Meccanica applicata alle macchine Elettrotecnica II Scienza delle costruzioni
IV anno			196 270 5694 666	Controlli automatici Elettronica applicata Economia dell'ingegneria (2) Macchine elettriche	5843 663 732	Impianti elettrici Macchine Misure elettriche
V anno			1046	Tecnologie elettriche		
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	Cinque materie dell'indirizzo di specializzazione scelto					
	<b>1. Indirizzo Macchine Elettriche</b>					
		5697	Misure e regolazione degli impianti elettrici		81 4118	Calcolo delle macchine elettriche* Complementi di macchine elettriche
		4122	Complementi di misure elettriche			
		1384	Costruzione di macchine		205	Costruzioni elettromeccaniche
		5695	Esercizio delle reti elettriche di energia		2337	Applicazioni industriali dell'elettrotecnica
					1068	Trazione elettrica
	<b>2. Indirizzo Impianti Elettrici</b>					
		5564	Acustica applicata e illuminotecnica			
		5697	Misure e regolazione degli impianti elettrici		4134	Impianti idroelettrici e di rivalutazione dell'energia
		5695	Esercizio delle reti elettriche di energia*		2237	Applicazioni industriali dell'elettrotecnica
		86	Centrali elettriche		4153	Tecnica delle alte tensioni
		5690	Costruzioni per l'industria			
		4122	Complementi di misure elettriche			
	<b>3. Indirizzo Tecnologie Elettriche</b>					
	5564	Acustica applicata e illuminotecnica		205 5696	Costruzioni elettromeccaniche Materiali spec. per l'elettrotecnica	
	5697	Misure e regolazione degli impianti elettrici		4153	Tecnica delle alte tensioni*	
	5693	Chimica fisica dei materiali elettrici*		2049 2237	Tecnologie generali Applicazioni industriali dell'elettrotecnica	
<b>4. Indirizzo Trasporti</b>						
	5697	Misure e regolazione degli impianti elettrici		81 2237	Calcolo delle macchine elettriche Applicazioni industriali dell'elettrotecnica	
	1384	Costruzione di macchine			Tecnica della circolazione	
	5695	Esercizio delle reti elettriche di energia		2011 1068	Trazione elettrica*	
	1031	Tecnica ed economia dei trasporti*				

(\*) Insegnamento caratterizzante l'indirizzo.

(1) Sostituibile a tutti gli effetti da "(5693) Chimica fisica dei materiali elettrici" I ciclo.

(2) Sostituito ad ogni effetto da "(251) Economia ed organizzazione aziendale".

La Facoltà si riserva di apportare modifiche al presente piano di studi qualora si rendesse necessario in conseguenza della applicazione del D.P.R. 11.7.1980 n. 382.

## PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1982-83

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	1357 1360 4685 1368 1376	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica I Geometria				
II anno	1355 6792 148 1373 1380	Analisi matematica II Chimica applicata Chimica organica Fisica II Meccanica razionale				
III anno			6462 6793 6797	Calcolo numerico e program. Elettrotecnica Fisica tecnica	122 1385 814	Chimica fisica Meccanica applicata alle macchine Principi di ingegneria chimica
IV anno			4641 2235	Principi di ingegneria chimica II Scienza dei materiali	501 663 6801	Impianti chimici Macchine Scienza delle costruzioni
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 anno)	115	Chimica e tecnologia dei prodotti ceramici (V anno)
					4123	Chimica fisica dei polimeri (V anno)
					2030	Costruzione di apparecchiature chimiche (V anno)
					5802	Proprietà termodinamiche e di trasporto (IV anno)
					2049	Tecnologie generali (IV anno)
	2. Indirizzo Processi					
			1142	Teoria e sviluppo dei processi chimici (IV anno)	5801	Analisi dei sistemi dell'ingegneria chimica (V anno)
			6529	Tecnologia chimica del disinquinamento (V anno)	4129	Dinamica e controllo delle apparecchiature chimiche (V anno)
					5802	Proprietà termodinamiche e di trasporto (IV anno)
					5819	Sviluppo e disegno degli impianti chimici (V anno)
					2049	Tecnologie generali (IV anno)
3. Indirizzo Costruzioni - Impianti						
		5690	Costruzioni per l'industria (V anno)	2030	Costruzione di apparecchiature chimiche (V anno)	
		1142	Teoria e sviluppo dei prodotti chimici (IV anno)	5819	Sviluppo e disegno degli impianti chimici (V anno)	
		6529	Tecnologia chimica del disinquinamento (V anno)	2049	Tecnologie generali (IV anno)	

I numeri romani accanto ai titoli delle materie indicano l'anno di corso di appartenenza.

La Facoltà si riserva di apportare modifiche al presente piano di studi qualora si rendesse necessario in conseguenza della applicazione del D.P.R. 11.7.1980, n. 382.

## PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1982-83

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MINERARIA - COD. 2005									
Anno di corso	Corsi a svolgimento estensivo			Corsi a svolgimento intensivo					
	N. cod.		N. cod.	I ciclo	N. cod.	II ciclo			
I anno	1350 1358 1363 1367 1374	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica I Geometria							
II anno	1354 3781 1370 1378 5725 92	Analisi matematica II Disegno II Fisica II Meccanica razionale Mineralogia e petrografia Chimica applicata							
III anno	430 890	Fisica tecnica Scienza delle costruzioni	275	Elettrotecnica	1385 464	Meccanica applicata alle macchine Geologia			
IV anno			454 490 4114	Geofisica mineraria Idraulica Meccanica delle rocce	482 663 54	Giacimenti minerali Macchine Arte mineraria			
Una materia annuale dell'indirizzo di specializzazione scelto (1)									
V anno			690 1019	Meccanica dei giacimenti di idrocarburi Tecnica dei sondaggi	6804	Topografia			
Tre materie annuali dell'indirizzo di specializzazione scelto (1) (2)									
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	1026	Tecnica delle costruzioni (IV anno)	1. Indirizzo Miniere e Cave				Preparazione dei minerali (V anno)		
			4125	Consolidamento dei terreni (V anno)	805				
			4135	Idrogeologia applicata (sem.) (IV, V anno)					
			516	Impianti minerali (V anno)					
			2007	Geotecnica (sem.) (IV anno)					
			2. Indirizzo Idrocarburi e Fluidi del sottosuolo					731	Misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi (V anno)
			6462	Calcolo numerico e programmazione (V anno)					
			4135	Idrogeologia applicata (sem.) (IV, V anno)	816	Produzione e trasporto degli idrocarburi (V anno)			
			2007	Geotecnica (sem.) (IV anno)					
			3. Indirizzo Costruttivo					2008	Tecnica delle fondazioni (sem.) (V anno)
			6462	Calcolo numerico e programmazione (V anno)					
			4125	Consolidamento dei terreni (V anno)					
			2007	Geotecnica (sem.) (V anno)					
			4. Indirizzo Difesa e Conservazione del suolo						
			4125	Consolidamento dei terreni (V anno)					
			4131	Difesa e conservazione del suolo (V anno)					
4135	Idrogeologia applicata (sem.) (IV, V anno)								
496	Idrologia e idrografia (V anno)								
2007	Geotecnica (sem.) (IV anno)								

La Facoltà si riserva di apportare modifiche al presente piano di studi qualora si rendesse necessario in conseguenza della applicazione del D.P.R. 11.7.1980 n. 382.

(1) Due insegnamenti semestrali sono equivalenti ad un insegnamento annuale.

(2) Coloro che nell'a.a. 1980/81 hanno scelto al IV anno una materia di indirizzo semestrale sono tenuti nell'a.a. 1981/82 a scegliere al V anno tre materie annuali ed una semestrale.

## PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1982-83

Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - COD. 2006					
	Corsi a svolgimento estensivo			Corsi a svolgimento intensivo		
	N. cod.		N. cod.	I ciclo	N. cod.	II ciclo
I anno	1365	Disegno	1352 1361	Analisi matematica I Chimica	1369 1377	Fisica I Geometria
II anno			1356 1372	Analisi matematica II Fisica II	6464 1381 2004	Calcolo numerico e programmazione Meccanica razionale Metodi di osservazione e misura
III anno			189 6795 6798	Complementi di matematiche Elettrotecnica I Fisica tecnica	2438 6802 4115	Elettronica applicata I Scienza delle costruzioni Teoria dei sistemi
IV anno			5698 4179 5579	Campi elettromagnetici e circuiti I Comunicazione elettriche I Reti logiche	3694 5809	Controlli automatici I Elettronica applicata II (già Tecnica degli impulsi)
Una o due materie dell'indirizzo di specializzazione scelto (1)						
V anno			1386 251	Misure elettriche Economia ed organizzazione aziendale	877 2632	Radiotecnica Meccanica delle macchine e macchine
Tre o due materie dell'indirizzo di specializzazione scelto (1)						
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	<b>1. Indirizzo Microelettronica</b>					
			5699	Campi elettromagnetici e circuiti II (V)	3716	Calcolatori elettronici (V anno)
			2034	Elettronica quantistica (V anno)	6465	Chimica fisica (V)
			5702	* Microelettronica (V anno)	4314	* Elettronica applic. III (IV anno)
					2037	Elettronica industriale (V anno)
					5803	Progettazione automatica dei circuiti elettronici (V anno)
					3980	Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (IV anno)
	<b>2. Indirizzo Telecomunicazioni</b>					
			5699	* Campi elettromagnetici e circuiti II (V anno)	3716	Calcolatori elettronici (V anno)
			5700	* Comunicazioni elettriche II (V anno)	6465	Chimica fisica (V anno)
			2034	Elettronica quantistica (V anno)	4314	* Elettronica applicata III (IV anno)
			1048	Tecnologie elettroniche (V anno) (2)	2037	Elettronica industriale (V anno)
					5803	Progettazione automatica dei circuiti elettronici (V anno)
					3980	Sistemi per l'elaborazione della informazione (IV anno)
	<b>3. Indirizzo Automatica</b>					
			4126	* Controllo dei processi (V anno)	3695	* Controlli automatici II (V anno)
			4138	Linguaggi di programmazione (V anno)	2037	Elettronica industriale (V anno)
			5701	Metodi di ottimizzazione (V anno)	6898	Elettrotecnica II (V anno)
			5574	Tecnologie dei sistemi di controllo (V anno)	504	Impianti elettrici (V anno)
					3980	Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (IV anno)
<b>4. Indirizzo Bioingegneria</b>						
		4524	Analisi numerica (V anno)	1679	* Automazione ed organizzazione sanitaria (V anno)	
		3569	* Bioautomatica (V anno)	3980	Sistemi per l'elaborazione della informazione (IV anno)	
		4126	Controllo dei processi (V anno)	4152	Strumentazione biomedica (V anno)	
		5701	Metodi di ottimizzazione (V anno)			
		884	Ricerca operativa (V anno)			
		2038	Statistica applicata (V anno)			
<b>5. Indirizzo Informatica</b>						
		4524	Analisi numerica (V anno)	3716	Calcolatori elettronici (V anno)	
		4126	Controllo dei processi (V anno)	4314	Elettronica applic. III (IV anno)	
		4138	* Linguaggi di programmazione (V anno)	5573	Gestione dell'informazione (V anno)	
		884	Ricerca operativa (V anno)	3980	* Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (IV anno)	

(1) Sono contrassegnati con \* gli insegnamenti che caratterizzano ciascun indirizzo. I numeri romani fra parentesi indicano l'anno o gli anni di corso in cui l'insegnamento può essere inserito nel piano di studi. Il numero di insegnamenti di indirizzo da inserire è determinato dal numero complessivo di insegnamenti che è 29 per ciascun piano di studi.

(2) Sostituito a tutti gli effetti per il corrente a.a. dall'insegnamento di "Microelettronica".

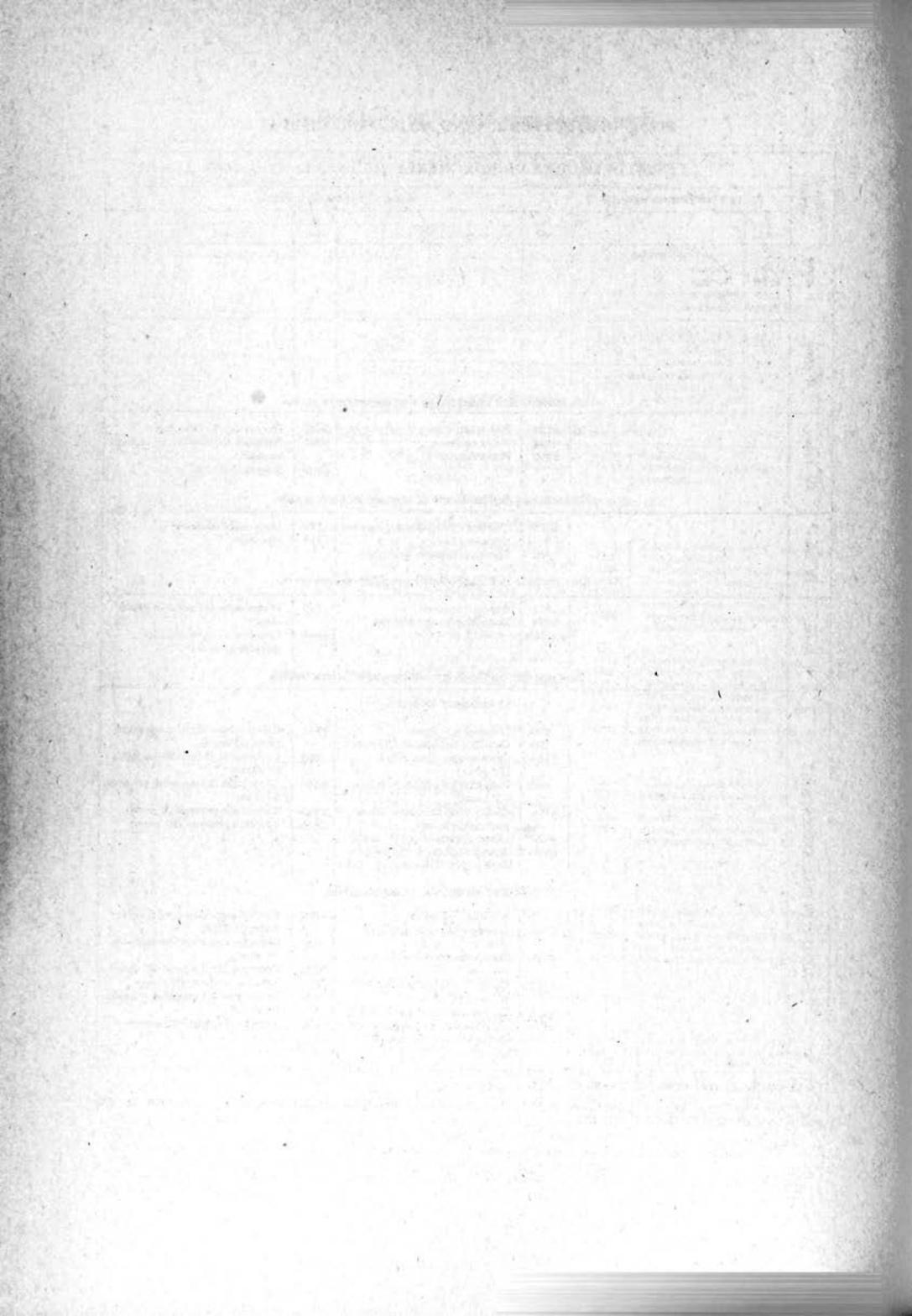
La Facoltà si riserva di apportare modifiche al presente piano di studi qualora si rendesse necessario in conseguenza della applicazione del D.P.R. 11.7.1980 n. 382.

## PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1982-83

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 Chimica Disegno Fisica I Geometria					
	1359						
	1364						
	1368						
	1376						
II anno	1355	Analisi matematica II Fisica II Fisica atomica Meccanica razionale					
	1373						
	406						
	1380						
Una materia dell'indirizzo di specializzazione scelto							
III anno			6793	Elettrotecnica	2631	Meccanica delle macchine Problemi matematici dei reattori nucleari Scienza delle costruzioni	
			422	Fisica nucleare	5804		
			6797	Fisica tecnica	6801		
Una materia dell'indirizzo di specializzazione scelto							
IV anno			6467	Cinetica e controllo del reattore nucleare (1)	271	Elettronica nucleare Macchine	
			409	Fisica del reattore nucleare	4313		
Due materie dell'indirizzo di specializzazione scelto							
V anno			517	Impianti nucleari	730	Misura delle radiazioni e protezioni Elementi di ingegneria del reattore nucleare	
			1059	Termotecnica del reattore	6469		
Due materie dell'indirizzo di specializzazione scelto							
INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE	1. Indirizzo Impianti						
			490	Idraulica (III anno)	4501	Calcolo numerico e programmazione (II anno) Costruzioni elettromeccaniche (V anno) Tecnologia dei materiali nucleari (II anno) Tecnologie generali (V anno) Teoria dei sistemi (III anno)	
			196	Controlli automatici (IV anno)			
			1384	Costruzione di macchine (IV anno)	205		
			665	Macchine ed impianti elettrici (IV anno)	1044		
			6471	Codici di calcolo per reattori nucleari (V anno)	2049		
			4128	Costruzioni nucleari (V anno)	6803		
			6470	Strumentazione e regolazione degli impianti nucleari (V anno)			
	2. Indirizzo Neutronico Combustibile						
			490	Idraulica (III anno)	4501		
			2046	Chimica fisica dei materiali nucleari (IV anno)	6466		
			4127	Complementi di neutronica (IV anno)	2826		
			6471	Codici di calcolo per reattori nucleari (V anno)	6806		
			4128	Costruzioni nucleari (V anno)	1044		
			6470	Strumentazione e regolazione degli impianti nucleari (V anno)	6803		

(1) Sostituito ad ogni effetto da "4140 Neutronica applicata".

La Facoltà si riserva di apportare modifiche al presente piano di studi qualora si rendesse necessario in conseguenza della applicazione del D.P.R. 11.7.1980 n. 382.



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 quindici indirizzi in appresso indicati:

1. *Sezione Edile*

*Indirizzo Architettura*

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

La diversificazione fra i due gruppi consiste nella più accentuata attenzione ai problemi impiantistici e delle costruzioni per l'industria da parte dell'indirizzo "A" e a quelli dell'economia, dell'attività cantieristica, dei modelli operativi, da parte dell'indirizzo "B".

*Indirizzo 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 di organizzazione complessiva del territorio, mentre nell'indirizzo "B" vengono più specificamente trattati gli aspetti relativi alla pianificazione delle reti infrastrutturali.

*Indirizzo Architettura-Urbanistica*

I gruppi di materie dell'indirizzo *Architettura-Urbanistica* trattano l'arco complessivo dei problemi di pianificazione del territorio e di progettazione e inserimento nell'ambiente sia degli oggetti sia dei sistemi edilizi.

*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 dal 3° anno, 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 quattro 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.

### 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, ogni problema dei trasporti, avente una funzione unificatrice di finalità e di metodi, si inserisce in quello più ampio e generalizzato di un servizio per l'uomo nel proprio spazio e determina i tre 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*).

#### *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 tal 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 terrestri, 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 terrestri, 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").

#### CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

Il Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica è attualmente articolato in quattro indirizzi: Costruttivo, Impiantistico, Tecnologico-organizzativo, Trasporti.

Gli insegnamenti sono 29, di cui 25 obbligatori, gli stessi per tutti gli indirizzi, e 4 a scelta che caratterizzano uno degli indirizzi previsti dal Piano degli Studi oppure un indirizzo proposto dallo studente nell'ambito della Legge 910.

##### *Indirizzo Costruttivo*

Gli insegnamenti dell'indirizzo costruttivo offrono allo studente possibilità di approfondimento delle conoscenze sui materiali, sul calcolo e sull'analisi sperimentale degli stati di tensione, sui criteri di progettazione, ai fini di una più precisa valutazione della affidabilità degli organi delle macchine e delle strutture meccaniche.

##### *Indirizzo Impiantistico*

Gli insegnamenti di questo indirizzo, di recente attivazione, affrontano problemi specifici di progettazione, di organizzazione e di conduzione di impianti meccanici e termici sia sotto l'aspetto tecnico che economico.

##### *Indirizzo Tecnologico-organizzativo*

Gli insegnamenti di questo indirizzo sono volti a completare la preparazione dello studente nel campo di processi di produzione, delle tecnologie di lavorazione e dei criteri di impiego dei materiali metallici e delle materie plastiche. Offrono inoltre possibilità di approfondimento delle conoscenze sui cicli di fabbricazione e sulla organizzazione della produzione.

##### *Indirizzo Trasporti*

Gli insegnamenti di questo indirizzo trattano i problemi relativi alla concezione, progettazione e utilizzazione dei mezzi di trasporto terrestri ed aerei. Vengono trattati anche gli aspetti organizzativi e di pianificazione dei sistemi di trasporto nonché le tecniche di circolazione.

## CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTROTECNICA

Il Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica ha seguito l'evoluzione tecnologica apportata dal grande sviluppo dell'elettronica e dell'informatica, pur mantenendo la fondamentale caratteristica che è nella sua tradizione: tendere cioè alla formazione di un ingegnere di vasta apertura tecnica e culturale, che possa consentirgli destinazioni assai svariate ed anche non strettamente attinenti alla specializzazione conseguita. Se infatti il settore culturale fondamentale in cui il corso di laurea si colloca riguarda la produzione, il trasporto e l'utilizzazione dell'energia elettrica, va tenuto presente che proprio la grande varietà di macchine, apparecchiature e dispositivi che si incontrano in tale settore rende necessaria una preparazione non superficiale in molti campi dell'ingegneria, dalla meccanica e macchine all'energetica, dai materiali all'elettronica. Di qui la preminenza data alle metodologie piuttosto che alla eccessiva descrittività e il costante richiamo interdisciplinare che caratterizzano il corso di laurea e che possono fare dell'ingegnere elettrotecnico un professionista ed un ricercatore poliedrico ed in grado di emergere in molti settori della tecnica e della scienza.

Lo sforzo del corso di laurea è quello di contemperare la necessità di un costante aggiornamento nei settori specialistici con l'esigenza di una preparazione di base solida e ad ampio spettro, che mantenga all'ingegnere elettrotecnico le caratteristiche che gli sono peculiari.

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

### *Elettromeccanica*

— con particolare riferimento al progetto, funzionamento e costruzione delle macchine elettriche, settore tradizionale di competenza dell'ingegnere elettrotecnico;

### *Generazione, trasporto e conversione dell'energia elettrica*

— con una notevole apertura nel campo dei dispositivi elettronici di potenza;

### *Materiali e Tecnologie*

— con un particolare risalto alle alte tensioni, tecnologia caratteristica dell'ingegneria elettrotecnica;

### *Trasporti*

— dove la trazione elettrica assume preminente importanza, costituendo un classico settore di impiego dell'ingegnere elettrotecnico.

Per evitare specializzazioni troppo spinte, è previsto un numero di corsi per ogni indirizzo superiore a cinque e molti corsi sono ripetuti in vari indirizzi: ciò permette una scelta più libera e sfuma le differenze fra i curricula degli allievi. Ai sensi della Legge 910 è inoltre possibile la sostituzione di corsi di indirizzo con altri non compresi nell'indirizzo scelto ed anche, nello spirito di quella ampiezza culturale che si desidera contraddistinguere il corso di laurea, con qualunque altro corso compreso nel manifesto degli studi della Facoltà.

Il Corso di Laurea in Ingegneria Chimica si è particolarmente sviluppato nell'ultimo periodo seguendo le richieste rivolte alla specializzazione dell'industria di trasformazione. In tal senso la preparazione specifica si sviluppa dallo studio dei fenomeni fisici e chimici fondamentali che intervengono nei processi di separazione (moto dei fluidi, scambi di calore, scambi di materia, reazioni chimiche, ecc.) all'analisi delle principali operazioni unitarie dell'industria chimica (distillazione, estrazione, stripping, ecc.), consentendo specializzazioni diverse, dallo studio dei materiali alla gestione di grandi insiemi di apparati.

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

Le situazioni tecnicamente rilevanti in cui tali settori trovano applicazione nei processi di trasformazione sono varie ed apparentemente molto differenziate, riguardando le industrie chimiche e petrolchimiche propriamente intese e parimenti altri settori quali quello farmaceutico, alimentare, nucleare, biomedico, del disinquinamento e dell'energia. In tale prospettiva l'organizzazione degli studi che viene offerta è volta a fornire una solida preparazione fondamentale e di spettro abbastanza ampio ed insieme una specializzazione più specifica in un settore di indirizzo.

Il corso di laurea offre tre indirizzi di specializzazione riguardanti i settori degli impianti, dei processi e dei materiali.

#### I — 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.

#### II — Indirizzo "Processi".

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

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

### III — Indirizzo "Impianti".

Scopo dell'indirizzo è di fornire le nozioni fondamentali delle tecnologie di fabbricazione, della progettazione costruttiva e del dimensionamento dei componenti meccanici e strutturali delle apparecchiature chimiche e di sviluppare i criteri di progettazione e di montaggio di un impianto chimico e di valutazione del costo dell'impianto.

#### CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MINERARIA

Fra i vari Corsi di Laurea in cui si articola la Facoltà 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, eduazione 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 geoeconomiche 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 ed all'azione dell'uomo.

### CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

Il corso di laurea in Ingegneria Elettronica è presente presso la Facoltà di Ingegneria di Bologna dal 1960, e fa capo, per ciò che riguarda gli insegnamenti specifici del ramo, agli Istituti di Elettronica e Automatica.

Il rapido e notevole sviluppo dell'elettronica, dell'informatica e dell'automatica avvenuto da allora ad oggi ha portato alla necessità di un altrettanto rapido e profondo adeguamento dei contenuti didattici del corso di laurea, attuatosi con il continuo aggiornamento dei programmi dei corsi e con l'inserimento di insegnamenti nuovi.

Il corso di laurea prevede attualmente 29 esami di profitto più l'esame di laurea. Tutti i corsi tranne uno (*Disegno*) sono a svolgimento intensivo; i due periodi dell'anno accademico dedicati alle lezioni vanno dall'inizio di novembre all'inizio di febbraio e dai primi di marzo all'inizio di giugno.

#### *Gruppo I (Microelettronica)*

Agli insegnamenti fondamentali, quali Elettronica applicata I, II, III, Reti logiche e Calcolatori elettronici, che forniscono la base culturale e gli elementi essenziali della teoria dei circuiti e dei componenti elettronici, fanno seguito i corsi del Gruppo I (Microelettronica). Fra questi l'insegnamento di "Microelettronica" sviluppa i problemi ingegneristici della progettazione e della fabbricazione dei moderni circuiti integrati allo stato solido; l'insegnamento di "Elettronica quantistica" estende le conoscenze fisiche sui dispositivi al settore dell'optoelettronica (LED e Laser, fotorivelatori, celle solari etc.) ed alle sue applicazioni; l'insegnamento di "Chimica fisica dello stato solido" approfondisce gli aspetti chimico-fisici della moderna tecnologia dei materiali per l'Elettronica. Altri corsi sono inclusi al fine di consentire un allargamento dello spettro della preparazione dell'Allievo.

#### *Gruppo II (Telecomunicazioni)*

Agli insegnamenti fondamentali, nei quali i collegamenti per telecomunicazioni vengono prevalentemente studiati da un punto di vista sistemistico ed impiantistico, si concatenano i corsi caratterizzanti del Gruppo II (Telecomunicazioni). Specificatamente, l'insegnamento di Comunicazioni Elettriche II prosegue il filone sistemistico, soprattutto con riferimento alle trasmissioni numeriche, alla commutazione ed alle reti integrate; quello di Campi elettromagnetici e circuiti II approfondisce lo studio dei fenomeni fisici connessi con la generazione e la trasmissione di segnali, avendo come obiettivo principale la progettazione di circuiti e appa-

rati. A quest'ultimo insegnamento è strettamente connesso, per contenuti e scopi, quello di Microonde, che verte soprattutto sull'analisi dei portanti fisici per sistemi di telecomunicazioni. Altri corsi sono stati inclusi nel Gruppo II al fine di allargare lo spettro della preparazione dell'allievo, pur conservando ad esso una precisa finalizzazione verso dispositivi (vedi in partic. Elettronica Applicata III), apparati e sistemi per telecomunicazioni.

### *Gruppo III (Automatica)*

L'indirizzo di Automatica ha il duplice scopo:

- 1) di dare gli elementi fondamentali per l'analisi e la sintesi dei sistemi di controllo anche nei casi non elementari (Corsi di Controlli automatici, Controllo dei processi e Tecnologie dei sistemi di controllo);
- 2) di fornire gli strumenti teorici e pratici per un approccio sistemistico ai più diversi problemi dell'ingegneria (corsi di Metodi di ottimizzazione e Impianti elettrici).

In particolare vengono presentate le principali metodologie di identificazione e di modellistica sia dal punto di vista teorico sia con riferimento ad una vasta gamma di esempi pratici tratti dalle più avanzate esperienze effettuate nei settori dell'industria e della ricerca applicata.

Il corso di Tecnologie dei sistemi di controllo approfondisce alcuni elementi di strumentazione elettronica ed elaborazione dei segnali attinenti specificamente alla progettazione dei dispositivi di controllo.

### *Gruppo IV (Bioingegneria)*

L'indirizzo di Bioingegneria si propone di dare agli studenti di Ingegneria Elettronica le basi per l'inserimento professionale in un ambiente medico-biologico. L'indirizzo comprende tre corsi specifici (Bioautomatica, Strumentazione biomedica e Automazione ed organizzazione sanitaria) ed un corso integrativo (Statistica applicata) che, anche se non ha carattere specifico, si rivela assai utile per le applicazioni che può avere in campo clinico e sanitario.

In particolare il corso di Bioautomatica fornisce le conoscenze essenziali di carattere fisiologico, attraverso la descrizione fisico-matematica dei principali processi biologici. In esso vengono anche trattati i problemi della identificazione, strettamente connessi ai problemi della modellistica matematica. Il corso di Automazione ed Organizzazione Sanitaria tratta i problemi generali dell'organizzazione e gestione di un sistema sanitario e quelli specifici dell'automazione di alcuni servizi ospedalieri. Infine nel corso di Strumentazione Biomedica sono fornite le conoscenze di base per il progetto e l'impiego dei principali apparati di misura delle grandezze biologiche. In esso viene anche illustrato il principio di funzionamento dei più diffusi organi artificiali.

### *Gruppo V (Informatica)*

L'indirizzo di Informatica ha lo scopo di fornire conoscenze di base sulla problematica di progetto, sulle modalità di funzionamento e sulle tecniche di impiego dei calcolatori elettronici. In particolare il corso di "Sistemi per l'Elaborazione dell'Informazione" tratta il problema dell'organizzazione e funzionamento di un calcolatore elettronico. Il corso di "Linguaggi di Programmazione" affronta la tematica della progettazione del software e analizza le proprietà dei principali linguaggi di programmazione. Il corso di "Calcolatori Elettronici" introduce la problematica del software di base, discutendo in particolare le tecniche di analisi e di progettazione dei sistemi operativi. Il corso di "Gestione dell'informazione" tratta gli aspetti organizzativi, tecnici e economici derivanti dalla memorizzazione ed elaborazione di banche di dati. Nel corso di Ricerca Operativa vengono presentati algoritmi di ottimizzazione combinatoria con particolare riferimento alla teoria dei grafi e linguaggi per la simulazione di sistemi discreti. Nel corso di "Analisi numerica" vengono esaminati i principali algoritmi per la risoluzione automatica di problemi di algebra lineare, di interpolazione e di integrazione. Il corso di "Controllo dei Processi" si riferisce alla applicazione delle tecniche digitali nel settore della Automazione, trattando in particolare i problemi di interfacciamento con la strumentazione e la relativa progettazione del software applicativo.

### *Suggerimenti per la scelta dei corsi di indirizzo del corso di laurea in Ingegneria Elettronica*

Per facilitare una scelta dei corsi di indirizzo (di tipo c) in linea con gli obiettivi didattici del corso di laurea, è opportuno suddividerli in tre raggruppamenti: Telecomunicazioni / Microelettronica, Automatica / Bioingegneria, Informatica.

Tali raggruppamenti sono a loro volta suddivisi in "orientamenti", ciascuno dei quali comprende quattro insegnamenti, che lo studente può assumere come base per la formulazione di un piano di studio individuale. Per ogni orientamento vengono anche suggeriti insegnamenti che rappresentano un ulteriore approfondimento o allargamento della tematica in esso sviluppata e che possono essere inseriti nel piano di studio utilizzando eventualmente la legge 910 secondo i criteri generali illustrati nel seguito di questa guida.

## A) RAGGRUPPAMENTO TELECOMUNICAZIONI/MICROELETTRONICA

Nell'ambito del raggruppamento si possono individuare i seguenti orientamenti:

*Orientamento Sistemistico* — Suggestito a chi è interessato agli aspetti sistemistici delle reti di telecomunicazione.

*Orientamento Microonde/Circuiti* — Suggestito a chi è interessato agli aspetti circuitali degli apparati di telecomunicazione, con particolare riguardo alle microonde.

*Orientamento Microelettronica* — Suggestito a chi è interessato alla progettazione dei microcircuiti.

<i>Orientamento Sistemistico</i>	<i>Orientamento Microonde/Circuiti</i>	<i>Orientamento Microelettronica</i>
Sistemi per l'elaboraz. dell'informazione (4 <sup>o</sup> an)	Sistemi per l'elaboraz. dell'informazione (4 <sup>o</sup> an)	Sistemi per l'elaboraz. dell'informazione (4 <sup>o</sup> anno)
Comunicazioni elet. II	Elettronica Applicata III (4 anno)	Elettronica applicata III (4 <sup>o</sup> anno)
Microonde	Campi e.m. e circuiti II	Microelettronica
Calcolatori Elettronici	Microonde	Elettronica quantistica

In linea con gli orientamenti sopra elencati sono da considerarsi i seguenti insegnamenti:

<i>Orientamento Sistemistico</i>	<i>Orientamento Microonde/Circuiti</i>	<i>Orientamento Microelettronica</i>
Elettronica applicata III (4 <sup>o</sup> anno) (1)	Progettazione automatica dei circuiti elettronici (3)	Chimica fisica (6)
Campi e.m. e circuiti II (2)	Elettronica quantistica (4)	Calcolatori elettronici Progettazione automatica dei circuiti elettronici Campi e.m. e circuiti II
	Comunicazioni elettriche II (5)	

(1) Suggestito a chi è interessato alle conoscenze di base della Microelettronica.

(2) Suggestito a chi è interessato alla progettazione dei circuiti integrati per microonde.

(3) Suggestito a chi è interessato alla progettazione dei circuiti analogici con l'ausilio del calcolatore elettronico.

(4) Suggestito a chi è interessato alla "Optoelettronica", cioè ai fenomeni ed ai dispositivi elettronici in cui interagiscono segnali elettrici e segnali ottici.

(5) Suggestito a chi vuole mantenere accentuato anche l'orientamento sistemistico.

(6) Suggestito a chi è particolarmente interessato ai processi tecnologici di base.

(7) Suggestito a chi è interessato ad un allargamento verso le aree, rispettivamente, dei calcolatori, dei sottosistemi analogici ed ibridi e dei sottosistemi integrati per microonde.

## B) RAGGRUPPAMENTO AUTOMATICA/BIOINGEGNERIA

Nell'ambito del raggruppamento si possono individuare i seguenti orientamenti:

- Orientamento Industriale* — Suggesto a chi è interessato alle metodologie e alle tecnologie dell'automazione.
- Orientamento Metodologico* — Suggesto a chi è interessato alle metodologie generali.
- Orientamento Informatico* — Suggesto a chi è interessato alla progettazione e all'impiego di sistemi con calcolatore.
- Orientamento Biosistemi* — Suggesto a chi è interessato alle applicazioni biologiche della sistemistica, elettronica ed informatica.
- Orientamento Org. Sanitaria* — Suggesto a chi è interessato all'analisi e alla progettazione di strutture e servizi sanitari.

*Orientamento Industriale*

Sistemi per l'elaboraz. dell'informaz. (4<sup>o</sup> anno)  
Controllo dei processi  
Tecnologie dei Sistemi di controllo  
Elettronica Industriale

*Orientamento Metodologico*

Sistemi per l'elaboraz. dell'informaz. (4<sup>o</sup> anno)  
Controllo dei Processi  
Controlli automatici II  
Metodi di ottimizzazione

*Orientamento Informatico*

Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (4<sup>o</sup> anno)  
Controllo dei Processi  
Linguaggi di Programmazione  
Tecnologie dei Sistemi di controllo

(\*) *Orientamento Biosistemi*

Bioautomatica  
Strumentazione biomedica  
Controllo dei Processi  
Metodi di ottimizzazione

(\*) *Orientamento Organizzazione Sanitaria*

Automazione e organizzazione sanitaria  
Strumentazione biomedica  
Bioautomatica  
Ricerca operativa

(\*) La scelta di tale orientamento comporta l'uso della legge 910 per rispettare il numero (almeno 6) degli esami previsto dall'ordine degli studi al 4<sup>o</sup> anno di corso. Una possibile soluzione è rappresentata dall'anticipo, al 4<sup>o</sup> anno di corso, dell'insegnamento di "Strumentazione biomedica".

In linea con gli orientamenti sopra elencati sono da considerarsi i seguenti insegnamenti:

<i><b>Orientamento Industriale</b></i>	<i><b>Orientamento Metodologico</b></i>	<i><b>Orientamento Informatico</b></i>	
Controlli Automatici II (1)	Analisi numerica (4)	Calcolatori elettronici	} (7)
Elettrotecnica II	Ricerca Operativa (5)	Gestione dell'informazione	
Impianti elettrici } (2)	Statistica applicata (6)		
Organizzazione della Produzione (3)			
<i><b>Orientamento Biosistemi</b></i>		<i><b>Orientamento Organizzazione Sanitaria</b></i>	
Tecnologie dei Sistemi di controllo (8)		Controllo dei processi (10)	
Automazione e organizzazione sanitaria (9)		Statistica applicata (6)	

(1) Suggesto a chi vuole mantenere accentuata l'impostazione metodologica dei problemi di controllo.

(2) Suggesto a chi è interessato allo studio di macchine e di impianti elettrici.

(3) Suggesto a chi è interessato a prendere conoscenza dei problemi dei sistemi produttivi e delle tecniche di gestione. Afferisce al corso di laurea in Ingegneria Meccanica.

(4) Suggesto a chi intende approfondire i metodi e le tecniche per la soluzione di problemi numerici.

(5) Suggesto a chi è interessato alla soluzione con calcolatore dei problemi di programmazione matematica, ottimizzazione combinatoria e di simulazione.

(6) Suggesto a chi è interessato alle applicazioni dei metodi statistici a problemi di ingegneria.

(7) Suggesto a chi è interessato alle metodologie di progettazione per sistemi operativi e per archivi di dati.

(8) Suggesto a chi è interessato alla tecnologia ed alla progettazione di strumenti e di apparati di controllo.

(9) Suggesto a chi è interessato ai problemi di automazione di servizi ospedalieri.

(10) Suggesto a chi vuole mantenere accentuato l'interesse alle metodologie e alle tecniche di controllo di processo mediante calcolatore.

## C) RAGGRUPPAMENTO INFORMATICA

Nell'ambito del raggruppamento si possono individuare i seguenti orientamenti:

*Orientamento Sistemi di Elaborazione* — Suggestito a chi è interessato alla progettazione hardware e software di sistemi per l'elaborazione dell'informazione.

*Orientamento Calcolo Automatico* — Suggestito a chi è interessato ad approfondire le conoscenze degli strumenti matematici per la soluzione di problemi di ingegneria.

*Orientamento Industriale* — Suggestito a chi è interessato ad una finalizzazione verso applicazioni nel settore dell'automazione dei processi industriali.

*Orientamento Microelettronica* — Suggestito a chi è interessato ad un allargamento verso la progettazione dei microcircuiti.

*Orientamento Sistemi di Elaborazione*

Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (4<sup>o</sup> anno)  
Linguaggi di Programmazione  
Calcolatori Elettronici  
Gestione dell'Informazione

*Orientamento Calcolo Automatico*

Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (4<sup>o</sup> anno)  
Ricerca Operativa  
Analisi Numerica  
Linguaggi di Programmazione

*Orientamento Industriale*

Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (4<sup>o</sup> anno)  
Calcolatori Elettronici  
Gestione dell'informazione  
Controllo dei Processi

*Orientamento Microelettronica*

Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (4<sup>o</sup> anno)  
Calcolatori Elettronici  
Linguaggi di Programmazione  
Elettronica Applicata III (4<sup>o</sup> anno)

In linea con gli orientamenti sopra elencati sono da considerarsi i seguenti insegnamenti:

*Orientamento*

*Sistemi di Elaborazione*

Controllo dei Processi (1)  
Elettronica Industriale (2)

Ricerca Operativa (3)

*Orientamento*

*Industriale*

Linguaggi di Programmazione (7)  
Elettronica Industriale (2)

Tecnologie dei sistemi di controllo (8)

*Orientamento*

*Calcolo Automatico*

Statistica Applicata (4)  
Progettazione Automatica dei circuiti  
elettronici (5)  
Gestione dell'Informazione (6)

*Orientamento*

*Microelettronica*

Microelettronica (9)  
Progettazione automatica dei circuiti  
elettronici (5)  
Gestione dell'informazione (6)

(1) Suggesto a chi vuole mantenere accentuato l'interesse alle metodologie e alle tecniche di controllo di processo mediante calcolatore.

(2) Suggesto a chi è interessato allo studio di dispositivi ed apparati elettronici per applicazioni industriali.

(3) Suggesto a chi è interessato alla soluzione con calcolatore di problemi di programmazione matematica, ottimizzazione combinatoria e di simulazione.

(4) Suggesto a chi è interessato alle applicazioni dei metodi statistici a problemi di ingegneria.

(5) Suggesto a chi è interessato alla progettazione mediante calcolatore di circuiti analogici ed ibridi.

(6) Suggesto a chi è interessato alla progettazione ed all'impiego di archivi di dati.

(7) Suggesto a chi è interessato ad un approfondimento delle metodologie e degli strumenti per la programmazione dei calcolatori elettronici.

(8) Suggesto a chi è interessato alla tecnologia ed alla progettazione di strumenti e di apparati di controllo.

(9) Suggesto a chi è interessato alle conoscenze di base della Microelettronica e alle tecniche di progettazione dei Microcircuiti. Può essere inserito nel piano di studio solo se in esso è già presente l'Insegnamento di Elettronica Applicata III.

## 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-Combustibile*, 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) Numero di studenti (in complesso) iscritti nell'a. 1981/82 per Corso di Laurea, Anno di Corso e Sesso  
Facoltà di Ingegneria

CORSI DI LAUREA	PRIMO SECONDO		TERZO		QUARTO		QUINTO		SESTO		FUORI C.		TOTALE		
	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	
02 Ingegneria Meccanica	147	3	147	3	156	2	158	3	111			470	7	1189	18
03 Ingegneria Elettrotecnica	29		28		43	2	38	1	55	2		172	4	365	9
04 Ingegneria Chimica	15	3	19	4	47	3	30	5	34	4		116	5	261	24
05 Ingegneria Mineraria	15	1	21	4	12	2	20		26			31	1	125	8
06 Ingegneria Elettronica	302	22	225	19	258	17	228	14	208	8		738	26	1959	106
07 Ingegneria Nucleare	37	3	28	4	49		34	3	49	3		138	6	335	19
08 Ingegneria Civile sezione Edile	243	22	178	23	218	15	192	23	197	25		597	46	1625	154
09 Ingegneria Civile sezione Idraulica	14		16		22	1	23	2	33	2		54	1	162	6
10 Ingegneria Civile sezione Trasporti	8		7	1	33		19		15	1		82	3	164	5
<b>Totali Facoltà</b>	<b>810</b>	<b>54</b>	<b>669</b>	<b>58</b>	<b>838</b>	<b>42</b>	<b>742</b>	<b>51</b>	<b>728</b>	<b>45</b>		<b>2398</b>	<b>99</b>	<b>6185</b>	<b>349</b>

B) Numero di studenti (in complesso) iscritti nell'a.a. 1981/82 per Corso di Laurea, Anno di Corso e Sesso  
 Facoltà di Ingegneria

	PRIMO		SECONDO		TERZO		QUARTO		QUINTO		SESTO		FUORI C.		TOTALE	
	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.	MF.	F.
02 Ingegneria Meccanica	177	2	151	1	188	179	4	136	3	425	425	4	1256	10		
03 Ingegneria Elettrotecnica	46	2	24	1	65	3	47	78	1	153	153	4	413	11		
04 Ingegneria Chimica	39	2	30	4	68	7	41	4	55	1	137	3	370	21		
05 Ingegneria Mineraria	12	2	14		29	1	18	1	14		28		115	4		
06 Ingegneria Elettronica	278	16	265	12	298	12	289	14	247	6	663	13	2040	73		
07 Ingegneria Nucleare	49	4	47	3	85	3	60	2	66		135	7	442	19		
08 Ingegneria Civile																
Sezione edile	217	14	201	24	306	33	206	21	215	10	499	23	1644	125		
09 Ingegneria Civile																
Sezione idraulica	22	2	23	2	49	2	32	1	18	2	55	1	199	10		
10 Ingegneria Civile																
Sezione trasporti	20	2	24	1	34	2	27	1	42	1	70	5	217	12		
Totali Facoltà	860	46	779	48	1122	63	899	48	871	24	2165	56	6696	285		

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

Anno Accademico Corsi di Laurea	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81
Ing. Meccanica	230	194	180	155	118
Elettrotecnica	84	73	51	56	49
Chimica	58	67	45	40	58
Mineraria	10	14	14	10	19
Elettronica	292	231	196	221	198
Nucleare	27	36	38	50	63
Civile edile	195	204	232	203	162
Civile idraulica	34	24	14	24	18
Civile trasporti	73	51	35	29	23
<b>Totale Laureati Ingegneria</b>	<b>1003</b>	<b>894</b>	<b>805</b>	<b>788</b>	<b>708</b>

## NORMATIVA DI SEGRETERIA

(Facoltà di Ingegneria, Via Zamboni, 33 Bologna)

Responsabile: Rag. Gianni Rizzoli

### 1. - Immatricolazione

Le immatricolazioni si ricevono dal 1° Agosto al 5 Novembre.

Fino all'attuazione della riforma universitaria 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, e coloro che abbiano superato i corsi integrativi previsti dalla legge che ne autorizza la sperimentazione negli istituti professionali; *b)* i diplomati degli istituti magistrali e dei licei artistici che abbiano frequentato, con esito positivo, un corso annuale integrativo, da organizzarsi dai provveditorati agli studi, in ogni provincia, sotto la responsabilità didattica e scientifica delle università, sulla base di disposizioni che verranno impartite dal Ministero per la pubblica istruzione.

Fino all'attuazione della riforma della scuola secondaria superiore, ai diplomati degli istituti magistrali e dei licei artistici continuerà ad essere consentita l'iscrizione ai corsi di laurea per i quali è prevista l'ammissione dalle norme vigenti alla data di entrata in vigore della legge 11 dicembre 1969, n. 910; per lo stesso periodo di tempo si applicheranno, inoltre, le disposizioni del decreto-legge 22 dicembre 1968, n. 1241, convertito nella legge 12 febbraio 1969, n. 8, concernente l'iscrizione alle facoltà ed agli istituti superiori di magistero.

Indipendentemente dal titolo di istruzione secondaria superiore posseduto, chiunque sia fornito di laurea può iscriversi ad altro corso di laurea.

Inoltre i Diplomati presso la Scuola Europea di Bruxelles in possesso di licenza liceale europea possono iscriversi direttamente alle varie Facoltà, secondo le modalità previste dallo statuto della Scuola stessa.

La domanda di immatricolazione indirizzata al Rettore e *redatta su apposito modulo* (sul quale va applicata una marca da bollo da L. 700), da ritirare presso le tabaccherie della zona universitaria o presso la sede di viale Zanolini, deve contenere i seguenti dati:

- a)* nome e cognome del richiedente;
- b)* luogo (comune e provincia) e data di nascita;
- c)* residenza ed indirizzo della famiglia;
- d)* abitazione propria in Bologna (se lo studente abita presso terzi, deve indicare l'indirizzo completo della famiglia presso la quale egli abita).
- e)* Facoltà e corso di laurea al quale lo studente intende iscriversi.

La domanda deve essere corredata dei seguenti documenti:

1°) Diploma originale di studi medi o certificato sostitutivo dello stesso o in via provvisoria, per coloro che si sono diplomati nell'anno scolastico 1981/82 un certificato in carta legale degli studi compiuti<sup>(1)</sup>, non, però, copia notarile del diploma. Il cer-

tificato deve in ogni caso essere sostituito prima dell'inizio della sessione estiva di esami dal diploma originale (è opportuno ricordare che l'art. 142 del T.U. delle leggi sull'istruzione superiore vieta la *contemporanea* iscrizione a diverse Università, a diverse Facoltà o Scuole della stessa Università e a diversi corsi di laurea o di diploma della stessa Università e a diversi corsi di laurea o di diploma della stessa Facoltà o Scuola. Pertanto le iscrizioni effettuate e le carriere scolastiche svolte — compresi gli esami sostenuti — in contravvenzione alla predetta norma, sono prive di efficacia e vengono annullate);

2°) Diploma originale di studi medi prescritto dalle vigenti disposizioni per l'ammissione al corso di laurea che il richiedente intende seguire, ovvero, un certificato(\*) che dovrà essere sostituito nel corso dello stesso anno accademico e — comunque — prima degli esami, con il titolo originale. I diplomati anteriormente al 1981/82 *debbono* presentare esclusivamente il diploma originale. La stessa norma vale per coloro che intendono conseguire altra laurea.

3°) Ricevuta di pagamento della prima rata delle tasse per l'importo di L. 37.410 (uguale per tutte le Facoltà). Coloro che aspirano alla dispensa delle tasse o all'assenso di studio vedano le apposite disposizioni.

4°) Tre fotografie, formato tessera su fondo bianco, una delle quali applicata su carta legale e autenticata dall'autorità competente.

5°) Scheda statistica, debitamente compilata in tutte le sue parti.

*Con la 2<sup>a</sup> rata di tasse lo studente dovrà presentare una dichiarazione rilasciata dall'Ufficio distrettuale delle Imposte dirette (in carta libera) dalla quale risulti il reddito complessivo annuo della famiglia. I possessori di un reddito netto superiore a tre milioni dovranno provvedere al pagamento della tassa prevista dall'art. 4 della legge 18 dicembre 1951, n. 1551.*

## **2. - Immatricolazione degli stranieri e degli italiani in possesso di titoli di studio stranieri.**

### *A - Immatricolazione al I anno di un corso di laurea, con pre-iscrizione.*

Sono tenuti ad effettuare la pre-iscrizione, con l'indicazione di almeno tre sedi universitarie, i cittadini stranieri che aspirino alla immatricolazione al I anno di un corso di laurea e che abbiano conseguito o stiano per conseguire, a conclusione dell'anno scolastico in corso, un *titolo di studio valido nel loro Paese, per l'ammissione all'Università.*

La Conferenza Permanente dei Rettori delle Università italiana curerà l'assegnazione dei singoli studenti ad una delle sedi da essi indicate, o ad altra sede, compatibilmente con i posti disponibili; ciò al fine di evitare il sovraffollamento di alcune Università e il conseguente detrimento dell'efficienza delle strutture universitarie.

La *pre-iscrizione* dovrà essere effettuata presso le rappresentanze italiane com-

(\*) Tale certificato, se rilasciato da un Capo di Istituto non statale, fuori della provincia di Bologna, deve essere legalizzato dal competente Provveditore agli Studi.

petenti per territorio ovvero in Italia presso il Ministero degli Affari esteri fra il 2 Gennaio e il 15 Febbraio.

Ciascun studente dovrà compilare:

- 1) un modulo di pre-iscrizione (modello 1);
- 2) n. 3 copie della comunicazione dell'assegnazione di sede (modello 2);
- 3) una busta indirizzata a sè stesso e già affrancata con francobollo locale.

Alla domanda sarà unito anche un attestato comprovante la *buona conoscenza della lingua italiana*, rilasciato dall'Istituto Italiano di Cultura o dalle scuole italiane esistenti nel Paese o dalla scuola statale locale presso la quale l'interessato abbia studiato, per almeno tre anni, con esito positivo la lingua italiana. L'attestato sarà sottoposto al vaglio delle Autorità accademiche competenti.

I cittadini stranieri, conosciuta la sede universitaria loro assegnata mediante la pre-iscrizione, dovranno presentare *domanda di immatricolazione* al I anno (o di iscrizione ad un anno successivo) alle Rappresentanze italiane competenti per territorio *entro e non oltre il 31 Luglio*.

La domanda, in duplice copia, sarà diretta al Rettore dell'Università o Politecnico cui lo studente è stato assegnato.

La prescritta prova di cultura generale attinente al Corso di Laurea prescelto si svolgerà all'Estero in sedi che saranno indicate d'intesa con Il Ministero degli Affari Esteri. Gli stranieri che risiedono in Italia alla data del 15 Febbraio sosterranno le prove a Perugia presso l'Università per stranieri.

Sono esonerati dalla prova di cultura generale:

- a) gli stranieri provenienti da Paesi nei quali non esiste Università o la Facoltà prescelta;
- b) gli stranieri in possesso di titolo di studio italiano o di un titolo accademico italiano;
- c) gli stranieri che intendano chiedere il riconoscimento di un titolo accademico straniero, in caso di iscrizione con abbreviazione di corso.

Lo svolgimento delle prove suddette sarà coordinato dalla Conferenza permanente dei Rettori ed avverrà, sia in Italia che all'Estero, entro il 15 Giugno.

#### *B - Immatricolazione (o iscrizione) senza pre-iscrizione.*

Non sono tenuti a presentare la domanda di pre-iscrizione:

- a) i cittadini italiani residenti all'estero;
- b) i cittadini stranieri residenti in Italia da almeno due anni o che abbiano conseguito il titolo di studio all'estero dopo due anni di frequenza di una Scuola italiana;
- c) gli studenti stranieri borsisti del proprio Governo o del Governo italiano o di Organismi internazionali;
- d) gli studenti che chiedono il riconoscimento di un titolo accademico straniero;
- e) gli studenti in possesso di titoli accademici stranieri che aspirino a seguire, scuole o corsi di specializzazione o di perfezionamento.
- f) i candidati all'ammissione presso Istituzioni universitarie non statali o presso ISEF;

g) studenti iscritti a Università straniere e che aspirino a seguire corsi singoli o "stages".

I *cittadini italiani residenti all'estero* potranno presentare domande o alla Rappresentanza italiana competente per territorio o direttamente al Ministero degli Affari esteri, in tempo utile per trasmettere la pratica alle Autorità accademiche prima della data del 5 Novembre.

I *cittadini stranieri residenti in Italia* devono presentare al Ministero degli Affari esteri, in tempo utile per l'inoltro alle Autorità accademiche prima della data del 5 Novembre, domanda diretta al Rettore della Università, assieme alla documentazione richiesta.

Tutti coloro che non sono tenuti a presentare domanda di pre-iscrizione sosterranno eventuali prove di ammissione presso le sedi universitarie prescelte per seguire gli studi.

#### *C - Iscrizione ad anni di corso successivi al primo*

E' previsto anche il riconoscimento di un periodo di studio universitario compiuto all'estero presso una Università statale o legalmente riconosciuta. In tal caso gli studenti interessati potranno chiedere di essere ammessi ad un anno di corso successivo al primo (*Immatricolazione con abbreviazione di corso*).

L'eventuale abbreviazione viene concessa previo esame della documentazione esibita, a insindacabile giudizio del Consiglio della Facoltà presso la quale il candidato chiede di essere immatricolato.

#### *D - Riconoscimento di titoli accademici esteri o di periodi di studio universitario compiuto all'estero.*

I cittadini stranieri potranno ottenere il riconoscimento di un titolo accademico estero, ed il conseguente rilascio della laurea italiana corrispondente, alle condizioni che saranno stabilite caso per caso dalle competenti Autorità accademiche.

#### *E - Normativa per l'iscrizione dei "sottoingegneri"*

I cittadini stranieri o italiani, in possesso di diploma di "Sottoingegnere" (o Hypoingenieur) che chiedano l'iscrizione alla Facoltà di Ingegneria, vengono ammessi al primo anno del corso di Laurea richiesto.

### **3. - Norme generali relative alla carriera scolastica**

#### *A - Validità dell'anno e attestazioni di frequenza.*

Nessun anno di corso è valido se lo studente non è iscritto almeno a 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, oltre alle materie del proprio corso di laurea, può iscriversi — per ogni anno — a non più di due insegnamenti di altro corso di laurea della stessa Università.

## C - Esami di profitto.

*La domanda di ammissione agli esami di profitto per l'intero anno accademico è unificata con quella di immatricolazione o di iscrizione. Pertanto, nel periodo 1° agosto - 5 novembre va presentata la predetta domanda unificata, da valere per le tre sessioni dell'anno accademico 1982/83.*

Gli iscritti ad anni successivi al primo devono allegare obbligatoriamente il libretto di iscrizione sul quale la Segreteria annoterà la regolarità della posizione amministrativa ed apporrà il timbro comprovante l'avvenuta presentazione della domanda di esame.

*Lo studente è tenuto a conoscere le norme dell'ordinamento didattico del proprio corso di laurea ed è il solo responsabile dell'annullamento degli esami che siano sostenuti in violazione delle predette norme.*

In particolare:

- per i corsi raddoppiati per numero di studenti, 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 deve pagare la soprattassa di L. 500;
- gli esami di profitto non possono essere sostenuti più di due volte in un anno accademico, compresa la sessione straordinaria di febbraio;
- gli esami sostenuti in violazione delle norme che regolano la propedeuticità stabilite per Statuto saranno annullati;
- nell'appello straordinario di febbraio gli studenti non possono sostenere più di due esami di profitto, oltre a quello di laurea o diploma.

Tale limitazione non si applica agli studenti fuori corso.

## D - Esami di Laurea o Diploma.

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
- Sessione straordinaria        15 gennaio

L'ammissione di uno studente all'esame di laurea esige il controllo dell'intera carriera scolastica: pertanto *tali scadenze* sono improrogabili e per nessun motivo potranno essere concesse deroghe.

Per la documentazione rivolgersi alla Segreteria della Facoltà cui si è iscritti.

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

- 1) Domanda in carta legale da L. 700 indirizzata al Magnifico Rettore con l'indi-

cazione delle generalità, indirizzo, relatore, numero di matricola, per l'ammissione all'esame di laurea;

2) Domanda in carta legale da L. 700, indirizzata al Magnifico Rettore, intesa ad ottenere il rilascio del diploma di laurea;

3) Ricevuta del pagamento di L. 3.000 (sopratassa esame di laurea), L. 10.000 (pergamena) e di L. 300 (rilascio diploma), rilasciata dall'Esattoria dell'Università;

4) Ricevuta di L. 6.000 per tassa diploma di laurea, da pagarsi sul C/C/P n. 8/53000 intestato al 1° Ufficio I.G.E. tasse scolastiche Roma, presso un Ufficio postale. Coloro che hanno ottenuto il presalario sono tenuti al pagamento del solo *contributo di pergamena* (L. 10.000);

5) Tagliando rilasciato dalla Biblioteca Universitaria (Via Zamboni, 35);

6) Tagliando rilasciato dalla Biblioteca della Facoltà (V. Risorgimento, 2);

7) L'argomento della Tesi di Laurea, trascritto su apposito modulo firmato dal Relatore, va depositato in Segreteria cinque mesi prima della data di Laurea;

8) Il frontespizio (riproduzione su un foglio bianco della dicitura completa riportata sulla copertina della Tesi), firmato dal Relatore e con l'indicazione dell'insegnamento nell'ambito del quale è stato svolto l'argomento di Tesi, va consegnato in Segreteria, in doppia copia, 20 giorni prima dell'appello;

9) *Il libretto d'iscrizione, completo di tutti gli esami previsti per l'ammissione all'esame di laurea, deve essere consegnato in Segreteria almeno 20 gg. prima della data fissata per l'esame di laurea.*

**N.B.** Il termine di cui al punto 9 è assolutamente improrogabile.

#### **E - Conseguimento di un'altra laurea.**

I laureati che intendono iscriversi in altro corso di studi, devono farne domanda al Rettore, in carta legale da L. 700, entro il termine stabilito per l'immatricolazione unendo i documenti per essa richiesti, con esclusione di quelli già in possesso della Segreteria.

I laureandi dell'Università di Bologna che intendono immatricolarsi ad altro corso di laurea nell'anno accademico 1981/82, debbono presentare entro il 5 novembre, apposita domanda alla competente Segreteria; tale istanza sarà accolta sotto la condizione del conseguimento della laurea nella sessione autunnale, anche se in data posteriore al 5 novembre.

#### **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, opp. 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.

L'esame di laurea consiste nella discussione o di un progetto o di una ricerca tecnica svolta 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 Facoltà.

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 carta legale e indirizzata al Magnifico Rettore, deve essere accompagnata:

- a) dalla ricevuta del versamento di L. 5.500 per diritti di congedo;
- b) dal libretto di iscrizione.

Non può ottenere il trasferimento lo studente non in regola col pagamento delle tasse, sopratasse 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 su carta legale indirizzata al Magnifico Rettore dell'Università di Bologna per la prosecuzione degli studi e la eventuale convalida della precedente carriera scolastica;
- b) fotografia autenticata su carta legale;
- c) scheda statistica debitamente compilata in tutte le sue parti;
- d) ricevuta del versamento di L. 5.500 per diritti di trasferimento;
- e) ricevuta del versamento delle tasse di conguaglio (da richiedersi in Segreteria);
- f) domanda indirizzata al Consiglio di Facoltà, redatta su apposito modulo da ritirarsi in Segreteria.

#### 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, in carta legale da L. 700, dal 1° agosto entro e non oltre il 31 dicembre.

Alla domanda vanno allegati:

- a) quietanza del pagamento delle tasse e contributi dovuti per il corso di studi in cui lo studente si trova iscritto alla data della domanda;
- b) ricevuta del versamento di L. 5.500 per diritti di trasferimento;
- c) libretto d'iscrizione.

Lo studente, ottenuto il passaggio, deve provvedere, entro lo stesso termine del 31 dicembre, a presentare domanda al Rettore, in carta legale da L. 1.500, presso la Segreteria della Facoltà nella quale ha chiesto di trasferirsi.

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, poichè titolare del potere di approvazione, modifi-

ca o rigetto dei piani di studio autonomi è il Consiglio di Facoltà, 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 Facoltà 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.*

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, semprechè abbiano superato gli esami previsti dallo Statuto di questa Facoltà per l'iscrizione al terzo anno.

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

Gli studenti in debito di esame degli insegnamenti di Analisi matematica I e II, Geometria, Fisica I e II e Meccanica razionale sono tenuti a sostenere gli esami relativi con le Commissioni presiedute dai Docenti che hanno impartito le lezioni del Corso (individuato dal numero di codice, anno accademico e Corso di Laurea) di cui è stata ottenuta l'attestazione di frequenza, anche in caso di successivi trasferimenti ad altro Corso di Laurea.

Gli studenti in debito di esame, che abbiano ottenuto l'attestazione di frequenza dei suddetti insegnamenti presso altra Facoltà, sono tenuti a sostenere i relativi esami con le Commissioni presiedute dai Docenti che hanno impartito le lezioni del Corso nell'A.A. in cui lo studente è stato trasferito presso questa Facoltà.

Per gli studenti in debito di esame di tutti gli altri insegnamenti sia del biennio propedeutico che del triennio di applicazione, le Commissioni competenti sono quelle dei Corsi afferenti al Corso di Laurea al quale lo studente risulti regolarmente iscritto nell'A.A. in cui si presenta a sostenere l'esame.

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

Nel caso di studenti di questa Facoltà che si siano trasferiti presso altra Sede e successivamente presentino domanda di reinscrizione ad un Corso di laurea della Facoltà di Ingegneria di Bologna, rimane immutata la carriera scolastica percorsa in precedenza presso questa Università e non si terrà conto di eventuali modifiche, adottate da Consigli di Facoltà di altra Sede, relative a dizioni di insegnamenti seguiti o di esami superati presso l'Università di Bologna.

b) Al fine del riconoscimento della carriera scolastica comune valgono le seguenti norme di convalida per attestazione di frequenza ed esame di insegnamenti seguiti presso altre Sedi:

Insegnamento seguito	Convalidato per
Calcolo elettronico	Calcolo numerico e programmazione
Chimica applicata (1)	92 Chimica applicata (Meccanici e Minerari)
	5693 Chimica fisica dei materiali elettrici
	1043 Tecnologia dei materiali e chimica applicata
Chimica applicata ai materiali da costruzione	1043 Tecnologia dei materiali e chimica applicata
Disegno I	Disegno (2)
Disegno II (3)	3781 Disegno II (Minerari)
Elementi di calcolo numerico e programmazione	Calcolo numerico e programmazione
Elettrotecnica	Elettrotecnica I
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) L'attestazione di frequenza è comunque convalidata per Chimica applicata. Per il Corso di Laurea in Ingegneria Chimica la convalida dell'esame è subordinata al programma svolto nella Sede di provenienza.

(2) Gli iscritti al Corso di Laurea in Ingegneria Chimica dovranno sostenere una prova integrativa di "Disegno di Impianti chimici" da superare prima degli esami del II ciclo.

(3) 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.

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 degli 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, più un gruppo di discipline a scelta ad esclusione degli indirizzi Architettura. 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 11.12.1969 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, purchè 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.

Le modifiche ai piani di studio richieste per gli anni accademici successivi al corrente, saranno operate in base a quanto in merito disporrà la prevista legge di riforma universitaria o, comunque, in base alla facoltà già oggi prevista per lo studente, di modificare "in itinere" il piano stesso.

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 purchè 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.

*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, agli albi delle varie Facoltà 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, purchè motivata.
6. Gli insegnamenti chiesti in sostituzione si collocano nell'anno di corso in cui il piano di studi ufficiale colloca gli insegnamenti soppressi.
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 Elettrotecnica*

*Biennio:*

L'insegnamento di "Metodi di osservazione e misura" può essere sostituito con "Chimica fisica dei materiali elettrici".

*Triennio:*

Sono sostituibili alle condizioni sotto indicate i seguenti insegnamenti: "Idraulica" per chi non sceglie il corso di indirizzo "Impianti idroelettrici e di rivalutazione dell'energia"; "Meccanica applicata alle macchine" e "Macchine" possono essere sostituiti da "Meccanica applicata alle macchine e macchine" più ovviamente, un altro insegnamento, per chi non sceglie gli indirizzi 1 (Macchine elettriche) o 4 (Trasporti); "Economia dell'ingegneria" per chi non sceglie l'indirizzo 2 (Impianti elettrici).

Insegnamenti di un gruppo di indirizzo, purchè non caratterizzanti, possono inoltre essere sostituiti con insegnamenti di altri gruppi.

In ogni caso l'accettazione delle sostituzioni proposte è subordinata all'esame delle stesse da parte dell'apposita commissione del Consiglio del corso di laurea che dovrà accertare la validità del piano degli studi nel suo complesso, seguendo il criterio di massima di ritenere accettabili le sostituzioni che portino a introdurre nel piano degli studi un gruppo omogeneo di materie che lo caratterizzino. La Commissione è a disposizione degli studenti per fornire utili indicazioni in proposito.

b) *Corso di Laurea in Ingegneria Chimica*

1 - Non è consentita la sostituzione di materie di categoria *a* (obbligatorie sul piano nazionale), con l'eccezione dell'insegnamento di (1385) Meccanica applicata alle macchine che può essere sostituito da (2030) Costruzione di apparecchiature chimiche.

2 - Gli indirizzi di specializzazione consigliati sono costituiti da blocchi omogenei di materie, come indicato nel piano ufficiale degli studi. In caso diverso, un indirizzo scelto è individuato da almeno tre materie dell'indirizzo stesso, che dovranno essere inserite nel piano individuale degli studi.

3 - In ogni caso l'accettazione delle sostituzioni proposte è subordinata all'esame delle stesse da parte dell'apposita commissione del Consiglio del corso di laurea (che dovrà accertare la validità del piano degli studi nel suo complesso, seguendo il criterio di massima di ritenere accettabili le sostituzioni che portino ad introdurre nel piano degli studi un gruppo omogeneo di materie che lo caratterizzino), ed alla approvazione del Consiglio di Corso di Laurea.

c) *Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria*

Non è consentita la sostituzione di esami di categoria *a* (materie obbligatorie sul piano nazionale), con l'eccezione degli esami di (1385) Meccanica applica-

ta alle macchine e di (663) Macchine, che possono essere sostituiti da altri due insegnamenti annuali, uno dei quali deve essere (688) Meccanica applicata alle macchine e macchine (del Corso di Laurea in Ingegneria Civile).

*d) Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica*

1) Il piano di studi proposto dallo studente deve rispettare il numero di 29 discipline annuali previste per il conseguimento del diploma di laurea.

2) In particolare il piano di studi deve contenere tutti i 23 insegnamenti elencati nel seguito<sup>(1)</sup>:

- |   |  |
|---|--|
| 1 - Analisi matematica I (a)              | 13 - Fisica tecnica (a)  |
| 2 - Chimica (a)                           | 14 - Elettronica applicata (a)                                   |
| 3 - Disegno (a)                           | 15 - Scienza delle Costruzioni (a)                               |
| 4 - Fisica I (a)                          | 16 - Teoria dei sistemi (b)                                      |
| 5 - Geometria (a)                         | 17 - Campi elettromagnetici e circuiti I (a)                     |
| 6 - Analisi matematica II (a)             | 18 - Comunicazioni elettriche I (a)                              |
| 7 - Fisica II (a)                         | 19 - Reti logiche (b)  |
| 8 - Meccanica razionale (a)               | 20 - Controlli automatici I (a)                                  |
| 9 - Calcolo numerico e programmazione (b) | 21 - Elettronica applicata II (b) (già<br>Tecnica degli impulsi) |
| 10 - Metodi di oss. e misura (b)          | 22 - Misure elettriche (a)                                       |
| 11 - Complementi di matematiche (b)       | 23 - Meccanica delle Macchine e Macchine (a)                     |
| 12 - Elettrotecnica I (a)                 |  |

3) I 6 insegnamenti restanti possono essere scelti tra quelli elencati nel seguito:

- |  |  |
|--|--|
| 1 - Analisi numerica                     | 13 - Elettronica quantistica                   |
| 2 - Automazione ed organizzazione sanit. | 14 - Elettrotecnica II                         |
| 3 - Bioautomatica                        | 15 - Gestione dell'informazione                |
| 4 - Calcolatori elettronici              | 16 - Impianti elettrici                        |
| 5 - Campi elettromagnetici e circuiti II | 17 - Linguaggi di programmazione               |
| 6 - Chimica fisica (per Elettronici)     | 18 - Metodi di ottimizzazione                  |
| 7 - Comunicazioni elettriche II          | 19 - Microelettronica                          |
| 8 - Controlli automatici II              | 20 - Microonde                                 |
| 9 - Controllo dei processi               | 21 - Progettazione automatica dei circ. elett. |
| 10 - Economia e organ. aziendale (b)     | 22 - Radiotecnica (a)                          |
| 11 - Elettronica applicata III           | 23 - Ricerca operativa                         |
| 12 - Elettronica Industriale             | 24 - Sistemi per l'elab. dell'informazione     |

(1) Gli insegnamenti si distinguono:

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

In assenza di indicazioni il corso è di tipo c.

- 25 - Statistica applicata
- 26 - Strumentazione biomedica
- 27 - Tecnologia dei sistemi di controllo
- 28 - Tecnologie elettroniche (\*)

- 29 - Due insegnamenti annuali impartiti presso altro corso di laurea della Università di Bologna (sono esclusi gli insegnamenti di Lingue Straniere)

4) Le scelte operate dallo studente sono assoggettate ai seguenti vincoli:

4 a) L'insegnamento di Elettronica Applicata II deve essere inserito nel piano se l'indirizzo proposto è prevalentemente di microelettronica o di telecomunicazioni.

4 b) L'insegnamento di Radiotecnica deve essere inserito nel piano se l'indirizzo proposto è prevalentemente di telecomunicazioni.

4 c) Al posto di un insegnamento annuale del corso di laurea in Elettronica sono proponibili due insegnamenti semestrali impartiti presso altro corso di laurea. Parimenti al posto di due insegnamenti annuali è proponibile un insegnamento biennale.

5) Rispettando un sostanziale criterio di propedeuticità, è lecito proporre di sostenere un esame in anticipo rispetto a quanto indicato nel vigente ordine degli studi; non è lecito proporre una posticipazione.

6) I criteri che la Commissione per l'esame delle domande di modifica del piano di studi dovrà adottare nella valutazione delle domande presentate sono i seguenti:

6 a) Accettare la sostituibilità dei corsi classificati di tipo a) e b) e dichiarati sostituibili dal C.C.d.L. soltanto se l'insegnamento sostitutivo costituisce un approfondimento culturale di un indirizzo, previsto dall'ordinamento della Facoltà, che emerga come prevalente nel piano di studi dello studente, oppure, qualunque sia l'indirizzo prescelto, se è classificabile fra le discipline di tipo Economico-Produttivo.

6 b) Accettare le proposte di sostituzione formulate dagli studenti, se gli insegnamenti sostitutivi sono organicamente inseriti nel piano di studi e sono indicati in alternativa a corsi classificati di tipo c).

6 c) Accettare le proposte di modifica del piano di studi contenenti diverse sostituzioni, se queste, globalmente, possono soddisfare le precedenti regole 6 a) e 6 b).

---

(\*) Sostituito a tutti gli effetti, per il corrente a.a., da (5702) Microelettronica.

## 7. - Rilascio attestazioni.

Per ottenere il rilascio di certificati, l'interessato deve inoltrare domanda in carta legale (o su apposito modulo), diretta al Magnifico Rettore e presentarla alla competente Segreteria, indicandovi chiaramente cognome e nome, Facoltà, Corso di studi ed anno di appartenenza, numero di matricola e il tipo del certificato richiesto. La domanda va corredata della marca per diritto di segreteria.

Lo studente in difetto della presentazione di documenti o del pagamento di tasse o contributi, non può ottenere il rilascio di certificati.

Per ottenere il ritardo dal servizio militare di leva, occorre presentare alla Segreteria, insieme alla domanda d'iscrizione, apposita domanda in carta libera indirizzata al Distretto militare di appartenenza chiedendo il rinvio o il ritardo predetto. La domanda dovrà recare le generalità dell'interessato scritte chiaramente (cognome, nome, data e luogo di nascita) e l'indicazione del corso di studi seguito e anno di corso.

Tale domanda sarà presentata alla Segreteria, che provvederà a restituirla dopo averla corredata dell'attestazione circa la posizione scolastica dell'interessato.

Si ricorda che tale attestazione verrà rilasciata solo allo studente, in corso o fuori corso, che abbia sostenuto con esito favorevole almeno un esame nell'anno solare che precede quello per il quale viene richiesta la concessione del rinvio.

Per ottenere l'abbonamento ferroviario ridotto lo studente dovrà presentare alla Segreteria, insieme alla domanda d'iscrizione, domanda in carta legale da Lire 700, indirizzata alle Ferrovie dello Stato, chiedendo tale beneficio. La domanda dovrà contenere, in modo chiaro, le generalità dell'interessato, facoltà di appartenenza, corso di laurea e anno di corso. La domanda così compilata verrà restituita allo studente dopo che il Segretario vi avrà apposto in calce la dichiarazione attestante la posizione di studio. Lo studente presenterà poi domanda alla stazione di partenza.

## 8. - Dispensa dalle tasse e assegno di studio.

Per quanto riguarda la dispensa dalle tasse, l'assegno di studio e le altre provvidenze a favore degli studenti, si veda l'opuscolo a parte pubblicato dalla Sezione VIII Assistenza.

E' comunque necessario essere in regola con il proprio piano degli studi ed aver superato il numero di esami indicato nella tabella seguente:

## ASSEGNO DI STUDIO ED ESONERO TASSE

Ai fini dell'assegno di studio e della dispensa dal pagamento delle tasse, soprattasse e contributi è necessario aver superato il seguente numero di esami:

CORSO DI LAUREA	ANNO DI CORSO				
	I	II	III	IV	V
Civile edile (1) a	5	6	6	6	7
Alternativa b	5	6	6	7	6
Civile idraulica	5	6	6	6	6
Civile trasporti (1) a	5	6	6	6	6
alternativa b	5	6	6	7	5
Meccanica	5	5	6	6	7
Elettrotecnica	5	5	6	7	6
Chimica a	5	5	6	7	6
alternativa (2) b	5	5	5	7	7
Mineraria	5	6	5	7	6
Elettronica (3) a	5	5	6	6	7
alternativa	5	5	6	7	6
Nucleare	5	5	7	6	6

(1) Solo per gli studenti di Ingegneria Civile Edile e Ingegneria Civile Trasporti iscritti al IV anno a.a. 1979/80.

(2) Per gli studenti che sostituiscono un insegnamento del III anno con uno del V anno.

(3) Gli studenti di Ingegneria Elettronica iscritti nell'a.a. 1979/80 al IV o V anno e nell'a.a. 1980/81 al V anno devono seguire la ripartizione precedente e cioè 5 esami al I anno, 5 esami al II anno, 7 esami al III anno, 6 esami al IV anno, 6 esami al V anno.

N.B. Debbono essere superati nella sessione estiva almeno:

2 esami negli anni per i quali il numero richiesto è di 5,

3 esami negli anni per i quali il numero richiesto è 6 o più.

- Per la dispensa dalle tasse occorre superare, con la media prescritta, entro la sessione di febbraio 1982, il numero di esami fissato per l'anno di corso frequentato nel 1981/82.
- Per ottenere l'assegno di studio è necessario aver superato il seguente numero di esami:

1° anno: in base all'esame di maturità (il pagamento del saldo dell'assegno di studio avverrà dopo il superamento di due esami del 1° anno);

2° anno: due esami del 1° anno nella sessione estiva;

- 3<sup>o</sup> anno: gli esami del 1<sup>o</sup> anno più due del 2<sup>o</sup> anno nella sessione estiva; tre per i civili ed i minerari;
- 4<sup>o</sup> anno: gli esami del 1<sup>o</sup> anno, gli esami del 2<sup>o</sup> anno, tre del 3<sup>o</sup> anno nella sessione estiva (per la laurea in ingegneria mineraria solo due esami);
- 5<sup>o</sup> anno: gli esami del 1<sup>o</sup> anno, gli esami del 2<sup>o</sup> anno, gli esami del 3<sup>o</sup> anno e tre del 4<sup>o</sup> anno entro la sessione estiva.

Per gli studenti del 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anno di corso, due esami del 1<sup>o</sup> ciclo, superati entro il 31 marzo, possono essere equiparati ad altrettanti esami dell'anno precedente.



## 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

Docente: **Silvano Matarasso** prof. ord.

##### *Programma*

Numeri reali - Numeri complessi - Successioni - Limiti - Calcolo differenziale per le funzioni di una variabile reale - Serie numeriche - Integrazione - Topologia di  $\mathbb{R}^N$  - Funzioni di più variabili.

##### *Testi consigliati*

J.P. CECCONI, G. STAMPACCHIA, *Analisi matematica*, Liguori Ed.

1353

#### ANALISI MATEMATICA II

Docente: **Angelo Malferrari** prof. inc. stab.

##### *Programma*

Il corpo dei numeri complessi.

Ricerca delle primitive delle funzioni razionali e di alcune irrazionali.

Calcolo differenziale delle funzioni reali definite in parti di uno spazio euclideo. Derivazione parziale, differenziazione, funzioni implicite, formula di Taylor, massimi e minimi.

Integrali (Riemann) delle funzioni reali definite in parti limitate e misurabili di uno spazio euclideo. Derivazione sotto il segno di integrale. Teorema di Fubini.

Qualche caso di integrazione generalizzata.

Serie numeriche. Assoluta convergenza.

Successioni e serie di funzioni. Uniforme convergenza. Serie di potenze. Serie di Fourier.

Equazioni differenziali ordinarie in forma normale. Problema di Cauchy. Equazioni lineari. Equazioni a variabili separabili. Curve. Integrali curvilinei. Integrazione delle forme differenziali lineari.

Cenno sulle superfici e sugli integrali superficiali. Teoremi della divergenza e di Stokes.

### *Testi consigliati*

Appunti di Analisi Matematica - tratti dalle lezioni - Libreria Editoriale Petroni, Bologna.

L'esame comporta una prova scritta e una prova orale.

1357

### **CHIMICA**

Docente: **Bruno Fortunato** prof. inc. stab.

Il corso si propone in primo luogo un inquadramento razionale dei fondamenti della chimica, a partire dalla struttura atomica e molecolare, con particolari riferimenti alle proprietà degli elementi. Si studia poi la reazione chimica nei suoi diversi aspetti.

Si sottolineano in diverse occasioni temi di speciale interesse per la formazione di un ingegnere civile (corrosione elettrochimica, diagrammi binari ecc.).

### *Programma*

1. Struttura macroscopica e microscopica dei sistemi chimici. Struttura atomica della materia, struttura del nucleo e radioattività, struttura elettronica degli atomi. Sistema periodico. Legame chimico.
2. I tre stati di aggregazione della materia.  
Stato gassoso, liquido e solido. Cambiamenti di stato e diagrammi di stato.
3. Le soluzioni.  
Gli elettroliti e le soluzioni elettrolitiche.
4. Le reazioni chimiche e l'equilibrio chimico.  
Elettrochimica, Cinetica, Termochimica; Stato di equilibrio e legge dell'azione di massa.  
Equilibri omogenei ed eterogenei.
5. Gli elementi chimici.

Il corso comprende esercizi e calcoli numerici.

*Testi consigliati*

P. CHIORBOLI, *Fondamenti di chimica*, UTET.

B.H. MAHAN, *Chimica Generale e Inorganica*, CEA.

*Esami orali.*

1362

**DISEGNO**

Docente: **Valerio Valeriani** prof. inc. stab.

*Finalità del Corso:* indirizzare l'allievo al pratico impiego dei metodi e dei procedimenti di rappresentazione in conformità alle esigenze del disegno tecnico, relativi 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. Innessi e raccordi di superfici; superfici sviluppabili. Applicazioni 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 proiezione grafica, geometria descrittiva, nomografia*, Ed. CEDAM Padova.

*Manuale dell'Architetto.*

Le esercitazioni consistono nell'esecuzione di una prova extempore, che costituiscono 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** (Edili, ind.: Architettura, Costruzioni, Impianti)

Docente: **Giorgio Praderio** prof. inc. stab.

#### *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).

3656

**DISEGNO II** (Edili, ind.: Territorio, Architettura e Urbanistica; Idraulici; Trasporti)

Docente: **Alberto Pratelli** prof. inc. stab.

Il corso è svolto attraverso una serie di lezioni ed esercitazioni strettamente connesse. Mentre l'esperienza diretta sul disegno dovrà essere il più possibile continua, le lezioni assumono, parallelamente, una speciale funzione di esempio e di stimolo, descrivendo nelle varie fasi i connotati che la disciplina può assumere. Le lezioni teoriche quindi sono sempre correlate ad esempi concreti che permettano di comprendere e confrontare l'uso dei vari sistemi grafici possibili, in funzione dei fini scelti; esse si propongono di permettere l'analisi dei sistemi di rappresentazione legati all'architettura nei vari casi, siano essi rappresentazione di funzioni, di sistemi costruttivi di riferimento, o problematiche aperte dai contenuti alle varie scale operative.

L'introduzione al corso, oltre a configurare la disciplina nel suo essere attuale, uso, materiale e strumenti necessari, invita ad indagare sui processi di preparazione e di progettazione del disegno stesso e sulla lettura del disegno inteso anche come

strumento della progettazione. La parte teorica seguente esemplifica le varie scale in cui ciò può avvenire.

### *Programma*

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

In tutte le varie fasi il disegno viene esemplificato come somma di operazioni diverse (destinate cioè a operatori diversi), individuandone così le problematiche aperte dalla odierna pratica progettuale, che tende ad usare meccanismi di conoscenza aperti a più operatori, in quanto sempre più spesso compiuta attraverso successive collaborazioni che hanno bisogno di essere individuate.

Se è vero che ciascuno tende a disegnare "solo ciò che vede, tra le cose che guarda" è importante allora identificare l'oggetto delle attenzioni, non in maniera scolastica e ripetitiva, ma con una precisa operazione di selezione, che identifica, nei fatti, il grado della nostra cultura.

*Parte seconda:* le diverse scale dell'intervento progettuale. In questa parte vengono specialmente identificati i sistemi di rappresentazione dell'elemento da costruirsi e non ancora esistente, delle maniere con cui potrà essere realizzato e della forma che dovrà assumere. Si tende a mostrare come ogni sistema di progetto, anche in passato, corrispondesse ad un sistema costruttivo, e come quindi il disegno precostituisca, con la sua forza di indagine e di rappresentazione, le soluzioni finali volute, sia in termini di architettura, che di funzioni e organizzazioni dello spazio, di scelta dei particolari costruttivi e di organizzazione del processo tecnologico scelto.

Ad esempio: rapporti tra tipologie edilizie e scelte progettuali; rapporti tra dimensioni; scomposizione degli elementi funzionali e architettonici; lettura analitica di serie di disegni esecutivi; sistemi di quotatura utili ai vari sistemi costruttivi; progettazione e organizzazione dei disegni esecutivi; il disegno della progettazione.

*Parte terza:* l'uso degli strumenti di elaborazione dello spazio. La parte ultima, fondamentale, della trattazione teorica, intende indagare sull'uso attuale di tutti quei sistemi di rappresentazione che, messi di recente un po' in disparte perché considerati ormai troppo "storicizzati", sono invece alla base delle effettive capacità di conoscenza dello spazio architettonico. Questa parte, di per sé applicativa, intende fornire quelle basi propedeutiche, inalienabili, del patrimonio di conoscenze legate al disegno. La relazione tra i diversi argomenti vuole ricondurre gli esempi ad un unico filo conduttore che, tessendo l'interscambio continuo tra le diverse tecniche, permetta in concreto il passaggio tra la "geometria", il suo uso a fini applicativi, ed i diversi modi di generare ed esprimere lo spazio.

Ad esempio: elementi fondamentali per la elaborazione di prospettive; scelta del sistema idoneo al caso in oggetto; uso pratico di prospettive e disegni assonometrici;

elementi di teoria delle ombre; uso pratico della fotografia come coadiuvante del rilievo e del disegno di progetto.

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

### *Testi consigliati*

Sono utili, a scelta degli studenti, tutti i testi di Disegno per l'architettura e di Storia del disegno, Manuali per l'architettura, i testi propedeutici delle materie di progettazione del triennio.

1366

### **FISICA I**

Docente: **Ignazio Massa** prof. inc. stab.

#### Finalità del corso:

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

#### Programma sintetico del corso:

##### a) *Calcolo vettoriale e Cinematica.*

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

##### b) *Dinamica.*

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

c) *Termodinamica.*

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

*Testi consigliati:*

P. VERONESI, E. FUSCHINI: *Fondamenti di meccanica classica* (Ed. Coop. Libreria Universitaria).

P.A. TIPLER: *Fisica*, Vol. 1 (Ed. Zanichelli).

M. ALONSO, E.J. FINN: *Elementi di Fisica per l'Università*, Vol. 1 (Ed. Masson Italia).

M.W. ZEMANSKY, M.M. ABBOTT, H.C. VAN NESS: *Fondamenti di Termodinamica per ingegneri* (Ed. 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 I e Geometria.

1370

**FISICA II**

Docente: **Antonio Bertin** prof. straord.

*Finalità del corso.* Fornire un quadro organico di istituzioni di elettromagnetismo e di ottica, sottolineando gli aspetti unitari delle discipline in questione, e mantenendo 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 delle 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 stru-

menti 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:*

D. HALLIDAY e R. RESNICK, Fisica 2 (Ambrosiana, Milano, 1979).

PAUL A. TIPLER, Fisica 2 (Zanichelli, Bologna, 1980).

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**

Docente: **Calogero Tinaglia** prof. inc. stab.

Il corso ha lo scopo di rendere uniforme la preparazione degli studenti; far conoscere il metodo analitico e dare una mentalità geometrica, fornire gli strumenti algebrici necessari per i corsi applicativi.

*Programma*

I vettori dello spazio ordinario, operazioni lineari, componenti, prodotto scalare vettoriale, misto.

I numeri complessi. Polinomi ed equazioni algebriche. Spazi vettoriali: definizioni, esempi, proprietà elementari, sottospazi. Applicazioni lineari ed esempi, matrici associate, operazioni.

Basi e dimensioni di uno spazio vettoriale. Riduzione delle matrici e sottospazi.

Applicazioni lineari tra spazi di dimensione finita. Sistemi lineari: il metodo di riduzione, sistemi omogenei, matrice inversa, determinanti, rango di una matrice e applicazioni. Autovalori e autovettori di un endomorfismo di uno spazio vettoriale, il polinomio caratteristico; dimensione degli autospazi: matrici diagonalizzabili; matrici di passaggio. Spazi vettoriali con prodotto scalare. Spazi euclidei.

Ortogonalità e basi ortogonali. Matrici ortogonali ed unitarie. Endomorfismi autoaggiunti. Forme quadratiche. Geometria analitica del piano: coordinate, distan-

za, la retta, la circonferenza; coordinate polari; curve piane, le coniche in forma canonica ed in forma generale. Geometria analitica dello spazio: rette e piani; sfera e circonferenza, curve e superficie; cambio di coordinate; quadriche in forma canonica ed in forma generale. Il triedro fondamentale. Curvatura. Tangente ad una curva. Elementi di geometria differenziale delle superfici; classificazione dei punti di una superficie.

*Testo consigliato:*

S. GRECO, *Matematica II* - Vol. I: *Algebra lineare*, Vol. II *Geom. Analitica*.  
Ed. Levrotto-Bella.

661

## LITOLOGIA E GEOLOGIA

Docente: **Giulio Cesare Carloni** prof. inc. stab.

*Finalità del corso:* introdurre le conoscenze necessarie delle discipline geologiche per una trattazione più generale alle applicazioni pratiche nel campo specifico dell'Ingegneria civile, per superare le principali difficoltà in cui si vengono a trovare i progettisti e gli esecutori di opere ingegneristiche e facilitare infine il più possibile la collaborazione tra geologo ed ingegnere, geotecnico e geologo, ingegnere idraulico ed idrogeologo.

*Programma sintetico del corso:*

Parte prima: *Litologia*

Generalità sui processi genetici delle rocce. Composizione dell'Interno terrestre con particolare riguardo alla Litosfera, Usi ed applicazioni dei materiali litoidi, Elementi di Geotecnica.

Parte seconda: *Geologia applicata*

Carte geologiche e carte tematiche, Cenni sui rilievi geologici. Generalità sulla Stratigrafia e la Tettonica. Sismologia. Dissesti idrogeologici con particolare riguardo alle frane ed ai movimenti franosi. Geomorfologia. Elementi di Idrogeologia; acque sotterranee. Difesa delle spiagge. Geologia delle strade. delle fondazioni e delle gallerie. Territorio ed ambiente urbano-industriale. Geologia ambientale e carte geologico-tecniche.

Cicli di *esercitazioni* ed escursioni sul terreno completano il programma del corso.

*Testi consigliati:*

- 1) Dispense redatte dal Docente.
- 2) TREVISAN L., TONGIORGI E., *La Terra*, ed. UTET.
- 3) Autori vari, *Geologia tecnica*, ed. ISEDI.

- 4) Autori vari, *Scienze della Terra*, da "Le Scienze", ed. Mondadori.  
 5) PHILLIPS O.M., *La Geofisica*, ed. EST Mondadori.

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 poche 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

Docente: Luigi Caprioli prof. ord.

#### *Programma*

*Richiami di calcolo vettoriale.* Vettori, operazioni, rappr. cartesiana. Elementi di Analisi vett. e di Geom. diff. intrinseca delle curve. Vettori applicati (v.a.) e sistemi di v.a.. Teoremi d'equivalenza. Particolari sistemi di v.a.: v.a. paralleli, centro; v.a. complanari, pol. funicolare, teor. di Culmann.

*Cinematica. Richiami di Cinematica del punto.* Velocità, accelerazione. Moti rettilineo, circolare, elicoidale. Moti piani, coord. polari, velocità areale, teor. di Binet.  
*Cinematica dei sistemi rigidi.* Terna solidale, angoli d'Eulero. Formole di Poisson. Campo delle velocità dei punti d'un s.r.. Moti ed atti di moto traslatorio, rotatorio. elicoidale. Teorema di Mozzi. Campo delle accelerazioni dei punti d'un s.r.  
*Cinematica relativa.* Teor. di comp. delle velocità e delle accelerazioni. Derivati d'un vettore rispetto ad osservatori in moto relativo.

*Particolari moti rigidi.* Moti piani, centro istantaneo, base e rulletta, polo delle acc.ni. Moto del c.r. con un punto fisso, precessioni.

*Statica.* Punto materiale e sist. di punti mat.. Centro di massa. Coord. ordinarie, coord. lagrangiane. Vincoli: classificazione, proprietà. Forze, sistemi di forze. Equilibrio di forze applicate ad un punto, cond. necess. e suff. per l'equil. del punto. Equilibrio dei sistemi di forze e cond. nec. per l'equil. di un sist. mec. libero o vincolato. Cond. nec. e suff. per l'eq. d'un s. rigido libero o vincolato. Metodo delle reazioni vincolari. Vincoli con attrito.

*Principio dei lavori virtuali.* Spostamento virtuale e lavoro virtuale. Principio dei lavori virtuali, enunciato e verifiche. Sistemi riferiti a coord. sovrabbondanti. Sollecitazioni conservative, potenziale, Stabilità dell'equilibrio.

*Continui deformabili* (cenni). Equilibrio dei fili (cond. nec. e suff., problemi fon-

damentali). Equilibrio delle verghe e dei cont. tridim. (cenno). Equilibrio dei corpi elastici, tensore di deformazione, tensore degli sforzi, relazioni costitutive (cenno).

*Dinamica.* Richiami: Leggi di Newton. Impulso e quantità di moto. Forze impulsive. Momento della quantità di moto. Lavoro. Energia cinetica. Teoremi delle forze vive e dell'energia.

*Dinamica del punto.* Cond. iniziali. Integrali primi. Moto del grave in presenza di resistenza (viscosa). Moto del punto su traiett. prestabilita e sotto l'azione di forza posizionale (in part. elastica), di forze resistenti, di forze impresse periodiche. Oscillazioni forzate, risonanza. Pendolo semplice. Moto di un punto su superficie assegnata: pendolo sferico.

*Dinamica relativa.* Moto ed equilibrio relativo del punto (riferimento terrestre, forza peso, pendolo di Foucault). Problema dei due corpi.

*Dinamica dei sistemi.* Energ. cinetica, quantità di moto, momento della quantità di moto di un sistema meccanico. Momenti d'inerzia. Ellissoide d'inerzia. Assi e momenti princ. d'inerzia. Teor. di Huyghens. Ellisse d'inerzia. Teoremi cardinali della Dinamica dei sistemi. Teoremi delle f. vive e dell'energia. Moto del c.r. con asse fisso; pendolo fisico. Moto del c.r. con punto fisso; equaz. d'Eulero. Moto alla Poisson. Fenomeni giroscopici, giroscopio (cenno). Moto del c.r. libero. Moto del c.r. soggetto a forze impulsive. Urto.

*Principio di d'Alembert:* Reazioni vincolari in regime dinamico.

*Equazioni di Lagrange:* deduzione (dal princ. di d'Alemb.) e discussione; applicazioni. Sollecitazioni dipendenti da potenziale ordinario e da potenziale generalizzato.

*Stabilità del moto e dell'equilibrio.* Stabilità alla Liapounoff, assintotica, orbitale.

*Piccole oscillazioni attorno a configurazioni d'equilibrio stabile:* pulsazioni fondamentali.

*Parte facoltativa: Dinamica dei fili e delle membrane. Cinematica relativistica ristretta.*

*Opere di cons.ne: Testi didattici di Meccanica Razionale:* Graffi, Pàtron; Finzi, Zanichelli; Janssens, Dunod; Goldstein, Zanichelli; Bordoni, Veschi; Grioli, Cortina; Ferrarese, Veschi; Benvenuti-Maschio, Ed. K. Cerciagnani, Zanichelli - *Esercizi di Meccanica Razionale:* Graffi, Pàtron; Finzi-Udeschini, Tamburini; Tonti, La Prora; Colombo-Grioli, Borghero; Spiegel, Schaum's Series, Mc. Gr. Hill. *Trattati:* Levi-Civita-Amaldi, Zanichelli; Appel, G. Villars; Agostinelli-Pignedoli. Zanichelli; *Scienza delle Costruzioni:* Belluzzi, III V., Zanichelli; Capurso, Pitagora. (D'ogni opera sono indicati, nell'ordine, Autore ed Editore).

1043

## TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA

Docente: Leopoldo Cini prof. inc. stab.

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. Coop. Universitaria - 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, 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 su i 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.: Territorio, Architettura e Urbanistica; Idraulici; Trasporti)Docente: **Adolfo Cesare Dell'Acqua** prof. straord.*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 del corso*

- Correlazione e sintesi delle componenti ambientali e tecnologiche nella progettazione e nella realizzazione dell'organismo architettonico; continuità delle fasi progettuali e operative alle diverse scale: edilizia, urbana, territoriale.
- Organizzazione dell'attività edilizia. Fasi sistematiche del processo edilizio: programmazione, progettazione, attuazione, gestione. Operatori del processo edilizio. Modelli organizzativi di correlazione tra le fasi e gli operatori del processo.
- Metodi e fasi sistematiche della progettazione ambientale e tecnologica. Rapporti tra metodi di progettazione e industrializzazione dei componenti edilizi.
- Studio degli "intorni" ambientali: requisiti fisico-ambientali degli ambiti spaziali e prestazioni degli elementi di involucro.
- Aspetti di componibilità geometrico-dimensionale e applicazione del coordinamento modulare nella progettazione. Normativa tecnica, dimensionale e qualitativa.
- Criteri di classificazione e di ordinamento tipologico nello studio dei materiali, degli elementi e dei sistemi costruttivi. Tipologia dei sistemi e dei procedimenti costruttivi; tipologia degli elementi costruttivi e dei giunti; applicazioni progettuali in relazione ai sistemi analizzati.
- Rapporti tra tipologia e tecnologia edilizia. Aspetti della qualità edilizia a livello ambientale e tecnologico. Organismi edilizi e sistemi costruttivi in rapporto alle diverse componenti dell'ambiente e del contesto urbano e territoriale.

(Per la bibliografia consigliata v. le indicazioni allegate al programma disponibile presso l'Istituto di Architettura e Urbanistica).

2010

**COMPLEMENTI DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI**Docente: **Claudio Ceccoli** prof. straord.*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 precomprese. Soluzione trigonometrica delle volte scatolari. Le membrane cilindriche a direttrice qualsiasi. Le lastre di traslazione snelle. Il calcolo delle volte come travi. La lastra cilindrica snella con i bordi rettilinei impediti di ruotare e di spostarsi orizzontalmente. Lastre di traslazione snelle aventi generatrice curva. Il metodo di Pucher, calcolo della membrana effettuato considerando la funzione degli sforzi. La soluzione 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.

198

**Costruzioni di ponti**Docente: **Piero Pozzati** prof. ord. (supplente)*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 ortotropo. Reticoli di travi (ripartizione trasversale dei carichi: trasversi indeformabili; trasversi deformabili e soluzione secondo Guyon-Massonnet). Travi composte (acciaio e calcestruzzo). Impalcati a cassone. Richiami su travi precomprese. Travi reticolari.

*Parte terza: le strutture di appoggio* — Pile (pile di limitata altezza; pile snelle; siste-

mi 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 14/2/1962.

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**

Docente: Pier Vincenzo Righi prof. ord.

### *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 costruzioni 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 accompagnamento.

*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, *Costruzioni 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: **Carla Tassoni** prof. inc. stab. (Civili A-K e Minerari)

**Ricardo Miglio** prof. inc. stab. (Civili L-Z)

*Programma*

Circuiti elettrici a parametri concentrati in regime stazionario e quasi stazio-

nario. Circuiti magnetici. Correnti in regime sinusoidale monofase e trifase.

Macchine elettriche: principi di funzionamento, perdite, riscaldamento, grandezze nominali.

Trasformatori: principio di funzionamento, equazioni, circuito equivalente, prove a vuoto e in corto circuito, rendimento, cadute di tensione. Trasformatori trifasi. Autotrasformatori.

Macchine asincrone: teoria del campo rotante, funzionamento, equazioni, circuito equivalente, coppia, avviamento, rendimento. Motori a gabbia. Regolazione della velocità.

Macchine sincrone: funzionamento, equazioni.

Macchine a corrente continua: funzionamento, equazioni, caratteristiche elettromeccaniche, regolazione della velocità.

Convertitori statici: circuiti raddrizzatori, invertitori.

Generalità sugli impianti elettrici: costituzione degli impianti, sistemi di distribuzione, linee corte, rifasamento.

Apparecchiature degli impianti: di comando, di manovra, di protezione, di misura.

Reti di distribuzione a M.T. e B.T.: cabine di distribuzione, configurazione delle reti, calcolo delle reti di distribuzione.

Terre: criteri di scelta per la messa a terra del neutro, modalità di messa a terra, impianti di terra.

Protezione contro gli infortuni: effetti fisiologici della corrente, tensione di sicurezza, norme CEI sulle modalità di protezione.

#### *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 in corrente alternata*, Cooperativa Libreria Universitaria, Bologna.

R. MIGLIO, *Appunti di Elettrotecnica*, Parte I e Parte II, Cooperativa Libreria Universitaria, Bologna.

F. ILICETO, *Lezioni di Elettrotecnica*, Ed. La Goliardica, Roma.

430

**FISICA TECNICA** (per Civili e Minerari)

Docente: **Giorgio Raffellini** prof. inc. (Civili e Minerari)

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

*Programma*

Termodinamica dei sistemi aperti e chiusi. I e II Principio della Termodinamica. Gas perfetti. Vapori saturi e surriscaldati, gas reali, miscele di gas e vapore. Teoria elementare delle motrici termiche e delle macchine frigorifere.

Fluidodinamica. Principi generali. Efflusso dei fluidi gassosi sotto forti differenze di pressione. Moto dei fluidi in condotti.

Trasmissione del calore e termotecnica. Trasmissione per conduzione, per convezione forzata e naturale, per irraggiamento. Equazioni differenziali e integrali del trasporto. Analisi di casi particolari di conduzione e convezione. Trasmissione del calore fra ambienti separati da una parete. Scambiatori di calore. Perdita di calore attraverso un condotto isolato.

Elementi di acustica applicata.

*Testi consigliati:*

A. GIULIANINI, *Fondamenti di Fisica tecnica*, voll. I e II, ed. Pàtron, Bologna 1976.

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

A. GIULIANINI, *Esercizi di Fisica Tecnica*, Vol. I, ed. Pàtron, Bologna 1976.

A. GIULIANINI, A. COCCHI, I. DI FEDERICO, *Esercizi di Fisica Tecnica*, vol. II, ed. Pàtron, Bologna 1975.

AUTORI DIVERSI, *Esercizi di Fisica Tecnica*, n° 1 ÷ 11, ed. Petroni, Bologna, 1975 ÷ 1982.

Esami orali, su tre temi distinti e relativi a: termodinamica, moto dei fluidi, trasmissione del calore. I temi possono essere sia di carattere 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 sportivi. Si assegnano anche Tesi di Laurea applicative interdisciplinari con i corsi di Architettura Tecnica, Composizione architettonica e Impianti tecnici civili.

447

**FONDAMENTI DI ECONOMIA ED ESTIMO**

Docente: **Piero Carrer** prof. straord. (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. 392 sulla disciplina delle locazioni degli immobili urbani. Equo canone.

*Testi consigliati*

- 1) ENZO DI COCCO, *Elementi di Economia Generale*, Vol. 1°, Edagricole 1973.
- 2) Dispense del docente.
- 3) IGINO MICHIELI, *Estimo*, 3° edizione Edagricole 1980.
- 4) CARLO FORTE, BALDO DE' ROSSI, *Principi di Economia ed Estimo*, edizione Etos Libri 1979.
- 5) PIERO CARRER, *Un piano di trasformazione immobiliare*, edizione Patron 1982.

L'esame è costituito da una prova orale che normalmente si articola in 5 domande di ciascuna afferente i 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.

2007

**GEOTECNICA (semestrale)**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 - Superficie di carico a 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 e Minerari)**Docenti: **Alberto Lamberti** prof. ord. (Civili A-K e Minerari)**Antonello Rubatta** prof. ord. (Civili L-Z)*Programma*

Unità di misura, omogeneità, teorema  $\pi$  - Schemi di materiale "continuo" - Equazioni di continuità.

Idrostatica: misure di pressione nei liquidi, azione dei liquidi sopra superficie in quiete, corpi galleggianti.

Equazione di Eulero, teorema di Bernoulli, teorema della quantità di moto. Azione dei liquidi 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 per brusche variazioni di sezione - 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 - Propagazioni 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 delle macchine termiche, idrauliche, dei loro componenti e degli organi di trasmissione. Esamina le prestazioni delle macchine stesse e studia la loro interconnessione con gli impianti cui sono destinate, con particolare riferimento alle utilizzazioni di maggior interesse per il settore dell'ingegneria civile.

*Programma*

1. Impianti di conversione dell'energia da termica a meccanica. (A vapore, a gas, a cicli binari).
2. Impianti frigoriferi.
3. Scambiatori di calore con particolare riguardo ai generatori di vapore.
4. Componenti delle macchine e fenomeni dissipativi (attrito). Rendimento meccanico.
5. Sistemi articolati (quadrilateri, manovellismo di spinta, ecc.).

6. Macchine alternative: compressori e motori a carburazione e ad iniezione (Diesel).
7. Macchine rotanti a vapore (turbine ad azione, a reazione, ecc.).
8. Velocità critiche agli alberi.
9. Macchine rotanti idrauliche: turbine e pompe centrifughe.

Trasmissioni meccaniche, trasmissioni ad organi flessibili, apparecchi di sollevamento ad organi flessibili.

*Testi consigliati:*

- S. FABBRI, *Appunti di Meccanica applicata alle macchine e macchine*, Ed. Patron.  
 G. MORANDI, *Macchine ed apparecchiature a vapore e frigorifere*, ed. Pitagora.  
 E. FUNAIOLI, *Meccanica applicata alle macchine*, Ed. Patron.

*Propedeuticità:* Meccanica Razionale, Fisica Tecnica, Scienza delle Costruzioni.

L'esame è costituito da una prova orale.

*Indirizzo delle tesi:* applicativo, progettistico.

890

**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (per Civili e Minerari)**

Docenti: Michele Capurso prof. ord. (Civili A-K e Minerari)

Agostino Cannarozzi prof. straord. (Civili L-Z)

Il corso si propone di fornire gli elementi fondamentali del calcolo strutturale con particolare riferimento alle ipotesi, ai principi ed alle limitazioni della metodologia di calcolo delle strutture nel campo elastico lineare. Al 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.

Gli esami vertono in una prova scritta nella quale vengono svolti tre esercizi, di norma consistenti in:

- a) determinazione delle azioni interne in una struttura isostatica,
- b) verifica di resistenza di una sezione in cui sono assegnate le azioni interne (ovvero, in alternativa, valutazione del carico critico di una struttura semplice),
- c) risoluzione e calcolo delle azioni interne in una struttura iperstatica, ed in una prova orale integrativa a chiarimento della scritta e comprendente una domanda relativa alla teoria.

Per la prova scritta sono previste di norma 4 ore.

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 precomprese. Gli studenti vengono assistiti per lo sviluppo di tre progetti riguardanti una struttura metallica di un edificio industriale; un telaio multipiano di calcestruzzo armato con relativa fondazione; una trave precompressa.

*Propedeuticità consigliate:* Scienza delle costruzioni.

*Testi consigliati:*

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); 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<sup>a</sup> (Sistemi di travi: l'interpretazione elastica, febbraio 1977); vol. II parte 2<sup>a</sup>, 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)**

Docente: **Maurizio Merli prof. inc. stab.**

*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
- Cenni alla distribuzione dei carichi fra gli elementi di una palificata
- Criteri di calcolo dei pali isolati soggetti ad azioni orizzontali
- Gruppi di pali verticali soggetti ad azioni orizzontali

*Fondazioni superficiali e profonde: criteri di calcolo degli elementi strutturali*

- Criteri generali di scelta del tipo di fondazione
- Fondazioni isolate: plinti
- Fondazioni continue: travi rovesce
- Fondazioni continue: reticoli di travi rovesce e platee
- Criteri di calcolo delle fondazioni superficiali sostenute da pali
- Le fondazioni in falda

*Interazione tra struttura in elevazione, fondazione e terreno*

- Metodi di progetto: le situazioni limite
- Metodi di verifica: il metodo delle deformazioni impresse

*Criteri di calcolo delle paratie e diaframmi continui*

- Tipologia degli elementi di contenimento

- Determinazione del diagramma del carico
- Profondità minima di infissione
- Verifica dello stato di sollecitazione
- Verifica della stabilità globale

Durante il Corso vengono illustrati progetti di fondazioni realizzate e svolti esercizi, corredati di sviluppi numerici, sui principali temi trattati.

1034

### **TECNICA URBANISTICA**

Docenti: **Carlo Monti** prof. straordinario. (Edili, ind.: Architettura, Costruzioni, Impianti)  
**Giovanni Crocioni** prof. incaricato. (Edili, ind.: Territorio, Architettura e Urbanistica; Trasporti)

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 di fornire un'approfondita conoscenza di problemi operativi. Anche le attività di esercitazioni sono condotte su temi concreti e su ambiti territoriali definiti e, ove possibile, con rapporti diretti con le comunità locali e gli organi preposti alla pianificazione del territorio.

#### *Esami ed esercitazioni*

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

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

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

Propedeuticità consigliate:

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

#### *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*).

5692

**TEORIA DEI SISTEMI E DEL CONTROLLO**Docente: **Gloria Capitani Catelli**, prof. inc. stab.

*Finalità del corso.* Il corso si propone innanzitutto di presentare le metodologie di applicazione di alcune nozioni fondamentali delle discipline matematiche classiche e non, dei problemi di definizione e di calibrazione di un modello matematico da associare ad un sistema reale; l'obiettivo principale è di mettere in evidenza, attraverso esempi ed applicazioni, la base teorica comune a tecniche usate in settori applicativi diversi.

Inoltre viene illustrato l'impiego di modelli matematici in problemi di previsione e di controllo, tenendo presente anche gli aspetti computazionali che si presentano quando la struttura matematica viene elaborata con l'aiuto di un calcolatore elettronico.

*Programma*

- Classificazione dei modelli matematici e loro caratteristiche generali: modelli statici, dinamici, lineari, non lineari, continui discreti, deterministici, stocastici.
- Cenni di statistica: dati grezzi, serie, distribuzioni di frequenza, istogrammi; alcuni parametri fondamentali: la media, la mediana, la moda, lo scarto quadratico medio; stima corretta e stima efficiente dei parametri.
- Calibrazione di modelli: regressione lineare, regressione multipla, il metodo dei minimi quadrati, calibrazione di modelli gravitazionali.
- Analisi di serie temporali: movimenti caratteristici delle serie temporali, medie mobili, stima dei trend, stima delle variazioni stagionali, indici stagionali, destagionalizzazione dei dati, stima delle variazioni cicliche, stima delle variazioni irregolari o casuali.
- Uso dei modelli matematici: cenni alla simulazione con uso del calcolatore dei modelli previsionali; il problema del controllo di un sistema, controllo in catena aperta, controllo in catena chiusa o retroazione.
- Programmazione (tecniche matematiche di ricerca di soluzioni ottime per problemi di gestione e di controllo): programmazione lineare, analisi costi-benefici; alcuni metodi numerici per semplici problemi di programmazione; ottimizzazione combinatoria, i grafi (nel senso di Koenig), cammini minimi su grafi e reticoli, assegnamento ottimo di risorse, flusso massimo in reti di trasporto, tecniche reticolari di programmazione e di controllo, PERT e CPM.

1061

**TOPOGRAFIA**Docenti: **Giorgio Folloni** prof. ord. (civili A-K)**Marco Unguendoli** prof. straordinario (civili L-Z)*Programma*

La posizione generale del problema del rilievo: - Richiami analitici e definizio-

ne 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 - Cenni di fotogrammetria.

### *Testi consigliati*

G. INGHILLERI, *Topografia Generale*.

Esistono dispense ciclostilate ufficialmente approvate.

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 due campi operativi di maggiore interesse riguardano il controllo geodetico dei movimenti recenti della crosta, il rilievo fotogrammetrico dei monumenti, la fotointerpretazione e le carte tematiche. In tali settori è auspicabile e si è già verificata la collaborazione con altri Istituti e Facoltà quali Geologia, Architettura, Agraria.

**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*

*Acquedotti:* Quantità e qualità dell'acqua per uso potabile. Fonti di approvvigionamento: opere di presa, sollevamento, e manufatti necessari. Potabilizzazione: filtrazione, trattamenti chimici, sterilizzazione. Opere di adduzione: condotte, giunti e criteri di posa; manufatti tipo ed apparecchiature. Serbatoi: di compenso, di carico, di riserva; loro ubicazione e apparecchiature idrauliche. Rete distributrice cittadina.

*Fognature:* Tipi di fognatura, sistemi di canalizzazione e criteri costruttivi di posa. Elaborazione delle piogge e calcolo delle portate nera e bianca. Manufatti tipo. Depurazione delle acque di fogna: naturale e artificiale; principio dei fanghi attivati. Impianti sanitari, scarichi delle acque usate nei singoli edifici, fosse biologiche. Norme e documenti per la realizzazione di un progetto, direzione dei lavori e collaudo.

5564

**ACUSTICA APPLICATA ED ILLUMINOTECNICA**

Docente: **Roberto Pompoli**, prof. 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 ener-

gia 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 — *Fotometria*. 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 tricromatico. *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'illuminazione 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: **Antonio Tralli** prof. inc.

Il corso intende illustrare le basi del calcolo automatico delle strutture e fornire agli studenti metodi operativi per l'analisi delle tipologie strutturali più frequenti.

*Programma*

*Principi variazionali per solidi elastico-lineari.* Principio di stazionarietà di Helinger-Reissner. Principi di minimo dell'energia Complementare. Formulazione forte e formulazione debole dei problemi al contorno. Introduzione alla tecnica degli elementi finiti; il metodo di Raleigh-Ritz; classificazione dei vari tipi di elementi.

*Analisi matriciale delle strutture monodimensionali piane e spaziali.* Metodo delle rigidità. Elementi finiti agli spostamenti per travi rettilinee e ad asse curvo.

*Problemi piani di tensione.* Formulazione forte e debole agli spostamenti. Famiglie di elementi compatibili; gli elementi triangolari a 6 e 12 gradi di libertà. Elementi isoparametrici.

*Problemi tridimensionali.* Formulazione forte e debole agli spostamenti. Problemi assialsimmetrici; gli elementi toroidali a 6 e 12 gradi di libertà. Elementi tetraedrici e poliedrici e relative famiglie.

*Lastre inflesse.* Formulazione forte e debole agli spostamenti della teoria di Kirchhoff delle lastre inflesse. Elementi finiti agli spostamenti e problemi connessi al loro uso. "Finite strip method". Formulazione debole di tipo misto. Elementi misti ed ibridi; l'elemento misto triangolare a momento costante e spostamento lineare; l'elemento misto quadratico rettangolare. Problemi connessi all'analisi di piastre ortotrope.

*Cenni ai problemi agli autovalori.* Matrice di rigidità geometrica; carichi critici e deformate critiche. Matrice delle masse; frequenze e modi propri di vibrazione. Metodi numerici per il calcolo degli autovalori.

*Generalità sui metodi di calcolo automatico delle strutture.* Discretizzazione della struttura e relativi problemi.

Matrice di rigidità del singolo elemento; assemblaggio delle matrici di rigidità della struttura; relazioni fra le topologie della discretizzazione e della matrice di rigidità assemblata; sottostrutture. Condizioni di carico; organizzazio-

ne e memorizzazione dei vettori dei carichi nodali equivalenti. Metodi di risoluzione dei sistemi lineari algebrici; metodi di fattorizzazione delle matrici secondo Gauss e Cholesky. I sistemi algebrici di grandi dimensioni; procedimento di risoluzione a banda; il metodo frontale. Definizione del calcolo delle sollecitazioni nel singolo elemento e problemi connessi alla organizzazione e gestione dei risultati ed alla loro interpretabilità ed affidabilità.

Nel corso delle esercitazioni gli studenti verranno assistiti nella redazione e nella gestione di programmi di calcolo per strutture concrete.

#### *Testi consigliati*

- C.A. BREBBIA J.J. CONNOR, *Fundamentals of Finite Element Techniques*. Butterworth, London, 1973. (traduzione italiana in corso di stampa)
- M. CAPURSO, *Introduzione al calcolo automatico delle strutture*. Cremonese, Roma, 1977.
- R.D. COOK, *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*. J. Wiley, New York, 1974.
- G. TONIOLO, *Analisi strutturale con l'elaboratore elettronico*. Tamburini, Milano, 1975.

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.

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

6461

### CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE (Civili)

Docente: **Silvano Martello** prof. inc.

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 incondizionato e condizionato, 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 IV. 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.

Elementi di algebra delle matrici (somma, prodotto, trasposta, inversa). Norme di un vettore e norme di una matrice. Radici reali di equazioni algebriche e trascendenti (metodi della Bisezione, delle Tangenti e delle Corde). Sistemi di equazioni lineari (metodo di Gauss per la fattorizzazione LR, metodo di Cholesky per la fattorizzazione  $LL^T$ , metodo di Gauss modificato per la fattorizzazione  $LDL^T$ ). Interpolazione (metodi dei Polinomi e di Lagrange). Metodo dei Minimi Quadrati. Integrazione numerica

(metodi dei trapezi, di Simpson e di Gauss). Equazioni differenziali ordinarie (metodi di Eulero e di Eulero modificato). Sistemi di equazioni differenziali (con condizioni iniziali e con condizioni al contorno).

— Strutture dei dati.

Vettori e matrici. Tabelle. Metodi di ricerca su tabelle. Matrici sparse. Code e pile. Tecniche di impaccamento.

— Introduzione all'uso del Plotter.

Descrizione dei più comuni tipi di Plotter. Messa in scala. Istruzioni fondamentali.

Le *esercitazioni* riguardano la messa a punto di algoritmi e di programmi di calcolo con l'uso di un elaboratore elettronico.

### *Testi consigliati*

Dispense distribuite dalla Libreria Pitagora.

L'esame consiste in una prova scritta sui diagrammi di flusso e sul linguaggio di programmazione FORTRAN ed in una prova orale.

85

## **CARATTERI DISTRIBUTIVI DEGLI EDIFICI**

Docente: **Giorgio Trebbi** prof. inc. stab.

### *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. straord.

#### *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.
- 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. Prova Marshall: % di bitume, granulometria, indice dei vuoti, filler. 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,  $I_g$ ). Metodi razionali: Burmister, Ieuffroy e Bachelez, Acum e Fox, Ivanov, Bisar. Cataloghi. Pavimentazioni cementizie: Westergaard, Burmister-Peltier, Hogg.
- 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: *Costruzione di Strade, Ferrovie ed Aeroporti.*

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

2816

### **COMPLEMENTI DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI**

Docente: **Ferdinando Laudiero** prof. inc.

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 tagliente sul carico critico. Matrice di rigidità geometrica. Il calcolo del carico critico come problema agli autovalori. Comportamento asintotico e comportamento biforcuto. Fattori di amplificazione. Il metodo degli elementi finiti per sistemi piani di travi. Condensazione statica. Metodo P- $\Delta$ . Instabilità flessio-torsionale di una trave prismatica di parete sottile semplicemente inflessa ovvero sottoposta ad un carico assiale centrato. 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 fondamentali del calcolo a rottura. Tecniche di delimitazione del moltiplicatore di collasso. Il calcolo a rottura mediante la programmazione lineare. La combinazione dei meccanismi.

3) Colcolo di sezioni in c.a. allo stato limite ultimo per tensioni normali.

Duttilità della sezione in semplice e doppia armatura. Determinazione del momento di rottura. 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). Delimitazione bilaterale del moltiplicatore di collasso secondo la tecnica di Merchant. 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.

1956

#### **COMPLEMENTI DI TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI**

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

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

2009

#### **COMPLEMENTI DI TECNICA URBANISTICA**

Docente: **Silvano Casini** prof. inc. stab.

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

1. *Le strutture del territorio*, negli aspetti più significativi sia dal punto di vista settoriale che insediativo. La metodologia d'indagine si fonda sull'individuazione di

indicatori qualitativi e quantitativi che consentano di mettere a fuoco i caratteri specifici diretti e indiretti, determinanti il modo di essere delle varie strutture.

2. *L'organizzazione del territorio*, attraverso l'esame dei livelli di utenza e di gestione, dell'impiego delle risorse, delle politiche di settore, del grado di interdipendenza settoriale conseguente al quadro economico e sociale. L'intento è di evidenziare i momenti e i meccanismi di squilibrio per pervenire, in positivo, all'individuazione di un assetto territoriale equilibrato puntando sulla massima partecipazione dell'utenza alle scelte, su un livello di utilizzazione delle risorse e dei patrimoni, sul superamento delle politiche strettamente di settore in una visione complessiva dei problemi.

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

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

### *Programma*

Il Corso si articola in fasi distinte.

#### I fase

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

#### II fase

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

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

#### III fase

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

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

L'esame consiste in un colloquio nel quale lo studente presenterà il lavoro svolto individualmente o in gruppo nel corso delle esercitazioni. Egli dovrà inoltre trattare gli argomenti che gli saranno proposti, attinenti il 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).

5690

### **COSTRUZIONI PER L'INDUSTRIA**

Docente: **Claudio Comani** prof. inc.

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.

251

**ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE**Docente: **Giorgio Bartolozzi** prof. ord. (supplente)

(V. Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica).

2005

**ELEMENTI DI ARCHITETTURA TECNICA**Docente: **Giampiero Cuppini** prof. inc. stab.

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

522

**IMPIANTI TECNICI CIVILI**Docente: **Eros Tartarini** prof. inc. stab.*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 parete 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 farrredamento. 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 del 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 a 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, e possono essere anche coordinati con gli Istituti di Architettura Urbanistica, Costruzioni di Strade, Ferrovie e Aeroporti.

812

#### **PRINCIPI DI DIRITTO (semestrale)**

Docente: **Mauro Bernardini** prof. inc. stab.

#### *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 - Prospettive e problemi*, Bologna, CLUEB 1982.
- 2) F. GALGANO, *Elementi di diritto*, Zanichelli, Bologna 1982.
- 3) CODICE CIVILE a cura di Nicolò e di 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: **Franco Nuti**, prof. inc. stab.

### *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 fa-

si 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.

5569

## **PROGRAMMAZIONE DELLO SVILUPPO E DELL'ASSETTO DEL TERRITORIO**

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

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.

5570

**STORIA DELL'ARCHITETTURA E DELL'URBANISTICA**

Docente:

Cenni su:

— *il mondo antico*: Patrimonio tecnologico, organizzazione territoriale, modo di produzione; elaborazione architettoniche ed esperimenti urbanistici nell'antichità classica.

— *Medio Evo e 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 poteri 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.

5572

**TECNICA ED ORGANIZZAZIONE DEI CANTIERI**Docente: **Francesco Spina** prof. inc.*Programma*

I — Lo studio dell'impresa di costruzione nei suoi aspetti storici, di organizzazione, di figura giuridica, di specializzazione, di attività imprenditoriale, e nei confronti delle responsabilità.

— Lo studio del lavoro, esteso alle tecniche per l'elaborazione dei piani economici-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. inc.

*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 corso affronta quindi metodi e tecniche che consentono:

- a) la conoscenza del territorio (come stato e come processo);
- b) la formulazione di schemi interpretativi in base alle conoscenze acquisite;
- c) la messa a punto di procedure e tecniche specifiche per la trasformazione del territorio.

*Contenuti ed articolazione del corso*1. *Metodo scientifico, teorie e modelli nell'analisi territoriale*

- 1.a Il concetto ed il ruolo di teoria e modelli nelle scienze matematiche, naturali e sociali.
- 1.b Il rapporto fra teoria e modelli nell'analisi spaziale.
- 1.c Il significato ed il ruolo dei modelli nel processo di pianificazione.

2. *Assunzioni teoriche e modelli operativi in urbanistica*

- 2.a Descrizione, valutazione e confronto dei contributi fondamentali, per la formazione di una teoria dei fenomeni territoriali.
- 2.b Elementi per l'individuazione ed il trattamento sistematico delle variabili territoriali; discussione dei rapporti con le variabili economiche.
- 2.c Elementi per la progettazione e l'uso dei modelli.

3. *Alcuni richiami di statistica e di matematica*4. *Problemi di classificazione nell'analisi spaziale*

- 4.a Tecniche di classificazione dell'uso dei suoli.
- 4.b Alcune tecniche statistiche per la classificazione (cluster analysis, analisi fattoriale etc.)

5. *Problemi di previsione*

- 5.1 Modelli lineari: esempi ed applicazioni
- 5.2 Modelli non lineari elementari (i modelli esponenziali ed i modelli asintotici): esempi ed applicazioni.
- 5.3 I modelli probabilistici: esempi ed applicazioni.

## 6. *Problemi di interazione spaziale*

### 6.1 Modelli gravitazionali: derivazioni ed applicazioni.

6.1.a Alcuni esempi ed applicazioni nel campo dei trasporti.

6.2.a Alcuni esempi ed applicazioni nel campo dei servizi.

### 6.2 Modelli di "opportunità".

6.3 Modello Lowry: discussione dell'utilità e dei limiti di un modello complessivo.

## 7. *Problemi di ottimizzazione*

Determinazione dei campi di applicazione dei modelli di ottimizzazione nell'ambito della pianificazione territoriale.

### 8. *Confronto critico fra realtà urbana e territoriale ed utilizzazione dei modelli.*

Criteri per la determinazione di una normativa di trattamento delle variabili territoriali in rapporto allo stato attuale delle conoscenze, con particolare riguardo all'integrazione fra la programmazione economica e la pianificazione territoriale.

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

Programmi delle materie di insegnamento

02

**AERODINAMICA**

Docente:

(v. Corso di laurea in Ingegneria meccanica).

6805

**COMPLEMENTI DI IDROLOGIA**

Docente: **Alberto Lamberti** prof. straord. (supplente).

*Programma*

Complementi di calcolo delle probabilità e di statistica. Metodi di stima dei parametri. I principali test statistici. Teoria della regressione lineare. Complementi di teoria dei valori estremi. Stime Bayesiane. Teoria delle decisioni. Valutazione dei costi attesi. Modelli matematici: a) modelli di generazione dei deflussi che rappresentano i principali fenomeni del ciclo idrologico (evaporazione, infiltrazione, ruscellamento, etc.); b) modelli di previsione delle piene; c) modelli di propagazione delle piene in alveo (Routing); d) modelli di falda.

4125

**CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI**

Docente: **Alberto Bucchi** prof. straord. (supplente)

*Programma*

Scopi del consolidamento dei terreni. Caratteristiche del terreno più influenti sul consolidamento. Rassegna dei principali tipi di consolidamento dei terreni a seconda del campo d'azione. Le iniezioni: il moto delle miscele all'interno dell'ammasso terroso e delle rocce fessurate, la penetrabilità, la stabilità, il tempo, la temperatura, i sali del materiale iniettato, la durezza, il claquage, la pressione di iniezione, la tecnica, la sicurezza, le disposizioni esecutive. I vari tipi di miscele. La presa,

la gelificazione, gli elettroliti, i vari tipi di resine. Campi di applicabilità delle varie miscele. I sistemi di iniezione. I vari casi di impiego. Consolidamento meccanico statico: precarico, pali in sabbia, teoria e metodi, prova edometrica. Consolidamento meccanico dinamico; rulli, magli, pali battuti, teoria e metodi. Vibroflottazione. Consolidamento con mezzi termici. Consolidamento elettrosmotico. Studio della stabilità delle scarpate. Frane: classifica, superfici di scorrimento, velocità di traslazione, ricerca dell'equilibrio. Causa di instabilità, vari tipi di acque. Equazioni di equilibrio, abaco di Taylor. Opere di difesa, movimento di masse, drenaggi, opere di difesa al piede, esempi. Consolidamento di scarpate in roccia: bullonature semplici e precomprese, verifica di stabilità, dimensionamento delle opere di difesa.

*Testi consigliati:*

CAMBEFORT, *Imiection 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 controeazione. 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 in 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 disabbiatori.

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 da 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 and 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: **Filippo Zoccoli** prof. ord. (inc.)*Programma*

1) Richiami sui moti ondosi: onde lineari e teorie di Stokes, Airy e Gerstner; onda solitaria. Maree: teoria statica; correnti marine e loro origine. Condizioni di frangimento. Riflessione, rifrazione e diffrazione delle onde. Valutazione delle massime altezze d'onda prevedibili in un paraggio: formule empiriche; metodo dell'onda significativa; metodo dello spettro di energia; criteri per la scelta dell'altezza d'onda di progetto. Azioni esercitate dalle onde sulle strutture. Effetti dell'acqua di mare sui calcestruzzi e sugli altri materiali da costruzione; corrosione dei metalli e protezione catodica.

2) Caratteristiche dei natanti e principali problemi della navigazione. Cartografia nautica; segnalazioni radioelettriche; fari e boe.

3) Le coste, definizioni e interazione col mare; trasporto di materiale da parte del mare: corrosioni e ripascimenti e loro cause; valutazione del trasporto solido lungo le rive; opere di difesa delle coste.

4) I porti: tipi, configurazioni e principali strutture. Le dighe e i moli di protezione: tipi e criteri di dimensionamento, problemi statici, economici e costruttivi; fondazioni. Le opere interne: banchine, darsene, terrapieni e loro attrezzature; terminali specializzati. Calcolo dei muri di sponda di vario tipo e degli organi di ormeggio. Strutture speciali nei porti: chiuse per docks, bacini da carenaggio e bacini-scalo: tipi ed elementi di calcolo. Esempi recenti di grandi realizzazioni.

5) I porti turistici. Caratteri generali, criteri tecnico-economici di impianto e dimensionamento. Valutazione delle aree necessarie. Tipi di strutture d'attracco e di servizio.

6) Idrovie artificiali e naturali. Tipi e dimensioni dei natanti, in relazione ai manufatti dell'idrovia; conche di navigazione, elevatori, passi a raso, ponti-canale e problemi statici e idraulici connessi. Canalizzazione dei corsi d'acqua per la navigabilità; leggi di Fargue e mezzi di intervento sull'andamento planimetrico; opere radenti e trasversali.

7) Opere fluviali. Controllo e correzione del profilo altimetrico di un corso d'acqua con briglie e soglie. Il problema della difesa dalle piene: interventi estensivi ed intensivi; serbatoi di controllo delle portate; arginature; casse di espansione. Cenni sui moderni mezzi di rilevazione, elaborazione automatica e controllo degli eventi di piena.

*Tesi di laurea*

Opere portuali e strutture di servizio. Piattaforme offshore. Porti turistici. Opere idroviarie. Regolarizzazione di corsi d'acqua. Azioni dei metodi ondosi sulle strutture. Inquinamenti marini.

*Materie indispensabili* per lo svolgimento della tesi:

Gruppo idraulico. Tecnica delle Costruzioni. Geotecnica e Tecnica delle fondazioni.

*Testi consigliati*: un'aggiornata bibliografia è contenuta negli appunti forniti agli studenti.

4131

## **DIFESA E CONSERVAZIONE DEL SUOLO**

Docente: **Alberto Bizzarri** prof. inc. stab.

### *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*

Ministr. Ric. Scient. e Tecn., *Prima relazione sulla situazione ambientale del paese*, 1973.

Commiss. intermin. per lo studio della sist. idr. e della difesa del suolo, *Relazione conclusiva*, (1970) ed *Atti* (1974).

Soc. Hydrotechnique de France - X Journées de l'Hydraulique, *La prevision des soues*, 1968.

Min. agr. e for, *Opere per la correzione dei torrenti*, Collana verde 29-1972.

SCHNAB ed 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.

5566

**IDRAULICA FLUVIALE**

Docente: **Alberto Lamberti** prof. straord. (inc.)

Finalità del corso:

- fornire i mezzi per una interpretazione razionale della evoluzione di un corso d'acqua, visto come corrente, in equilibrio dinamico con il letto mobile;
- fornire i fondamenti idraulici per lo studio della evoluzione degli inquinamenti.

*Programma*

- Formazione ed evoluzione dei deflussi e delle piene. Pioggia, evaporazione, infiltrazione, deflussi superficiali e profondi. Complementi di idraulica per le correnti a pelo libero in moto vario. Modelli di formazione dei deflussi e delle piene.
- Idraulica delle correnti in alveo alluvionale. Caratteristiche dei sedimenti. Inizio del movimento, instabilità dell'interfaccia piano, ripples, dune antidune, instabilità dell'asse rettilineo, meandri, scabrezza e resistenza al deflusso in canale alluvionale. La portata solida: formule per il trasporto al fondo e trasporto in sospensione. Le equazioni dell'idraulica delle correnti alluvionali, linee caratteristiche e zone di influenza. Metodi di misura del trasporto solido. Materiali coesi, isteresi nel cielo erosione deposito. Trasporto di materiali granulari e polverulenti in condotte. Movimento di sedimenti da parte delle onde: alcuni elementi di teoria delle onde, modelli di movimento dei sedimenti, il profilo della spiaggia, correnti di riva e trasporto longitudinale, classificazione dei sedimenti, forme del fondo e della costa.
- Diffusione e trasporto di particelle
  - Diffusione a seguito di movimento casuali, dispersione per convezione differenziale. Evoluzione di inquinamenti passivi, inquinanti dinamicamente attivi, il cuneo salino e correnti di densità.

*Propedeuticità consigliata:* Idraulica, Idrologia e idrografia.

*Testi consigliati:*

- G. SUPINO, *Le reti idrauliche*.  
 J. LEBRETON, *Hydraulique fluviale*.  
 A.J. RAUDKIVI, *Loose Boundary Hydraulics*.  
 M.S. YALIN, *Mechanics of sediment Transport*.

Appunti per il corso

496

## **IDROLOGIA E IDROGRAFIA**

Docente: **Pietro Guerrini** 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: **Filippo Zoccoli** 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 confluente; 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 corpi 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: **Giovanni Brighenti** prof. ord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria)

2013

**MISURE E MODELLI IDRAULICI**

Docente: **Fausto Lazzari** prof. inc. stab.

*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*

Nozioni generali sulle misure. Definizione delle principali unità di misura. Strumenti e metodi di misura di grandezze che intervengono in fenomeni idraulici (tempo, temperatura, livello, volume, massa volumica, velocità, portata, viscosità, pressione, eccetera). Misure sistematiche: loro organizzazione e interpretazione. Telemisure. Tecniche di acquisizione ed elaborazione dei dati.

La similitudine meccanica. Similitudine meccanica parziale. Modelli analogici. Modelli specifici per i moti in pressione. Modelli di correnti lineari a pelo libero.

Modelli di moti ondosi. Modelli di moti di filtrazione. Modelli di correnti di densità. Simulazioni di fenomeni che comportano modellamento del fondo per azioni di correnti permanenti o di moti ondosi.

*Propedeuticità consigliata:* Idraulica.

*Testi consigliati:*

U. PUPPINI, *Idraulica*, Zanichelli 1947.

M. FAZIO, *Manuale delle unità di misura*, ISEDI, Milano 1973.

A.T. TROSKOLANSKI, *Théorie et pratique des mesures hydrauliques*, Dunod 1962.

L'esame è costituito da una prova orale, integrata da disegni e calcoli estemporanei.

*Tesi di Laurea* di indirizzo sia teorico che applicativo.

5567

### PIANIFICAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE

Docente: Ezio Todini prof. straord.

#### *Programma*

- Analisi regionalizzata dei dati idrologici.
- Metodi di ricostruzione dei dati mancanti.
- Stima della domanda d'acqua.
- Programmazione matematica:
  - a) la teoria dei moltiplicatori di Lagrange e sue applicazioni;
  - b) la teoria della Programmazione Dinamica e sue applicazioni;
  - c) la teoria della programmazione lineare (a variabili continue, miste, intere e Booleane) e sue applicazioni.
- Analisi delle serie storiche.
- Modelli di serie temporali.
- La simulazione stocastica.

#### *Testi consigliati:*

PETER S. EAGLESON, *Dynamic Hydrology*, McGraw-Hill Book Company – New York 1970.

P. A.P. MORAN, *The Theory of Storage*, Wiley & Sons Inc – New York 1959.

A. MASS, ed altri, *Design of Water-Resource Systems*, Harvard University Press Cambridge – 1972.

I. REMSON, G.M. HORNEBERGER, F. J. MOLZ, *Numerical Methods in Subsurface Hydrology*, John Wiley – New York 1971.

NATHAN BURAS, *Scientific allocation of water resources*, Elsevier, New York 1972.

RAY K. LINSLEY, JOSEPH B. FRANZINI, *Water-Resource Engineering*, McGraw-Hill, New York 1964.

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. inc. stab.*Programma*

Coordinamento della progettazione degli impianti idraulici nel loro complesso in funzione dei fattori ambientali, tecnologici, economici e gestionali.

Analisi delle varie possibili soluzioni e criteri di scelta tecnico-economici.

Elaborazione completa dei progetti di massima ed esecutivi (compresa la parte amministrativa: analisi prezzi, computi estimativi, capitolati e contratti).

Progetti di fattibilità di complessi di opere.

Tecnologie costruttive ed organizzative dei cantieri.

Programmazione ed esecuzione dei lavori.

Collaudi e perizie.

Aspetti tecnici ed economici della gestione degli impianti idraulici.

Legislazione vigente.

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

Programmi delle materie di insegnamento.

1956

**COMPLEMENTI DI TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI**

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

*Finalità del corso.* Il Corso indica 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 edifici pubblici di trasporti.

**Programma**

1) *Problemi generali preliminari* - Richiami di tecnica ed economia dei trasporti. Il problema dello spostamento del trasporto. Cenni di meccanica della locomozione. Cenni di economia del trasporto. Le reti e gli elementi di base (nodo e linea). Concetti generali di integrazione; metodi di integrazione. Analisi tecnica, funzionale ed economica di un impianto; criteri di scelta.

2) *I sistemi di trasporto* - Sistema stradale e ferroviario. Linee, nodi, reti. Capacità degli elementi dei sistemi. Veicoli e loro caratteristiche in relazione al servizio richiesto. Regolazione del traffico stradale mediante impianti semaforici. Studio e dimensionamento di massima di un sistema semaforico stradale. Cenni sulla circolazione ferroviaria.

3) *Progettazione di impianti per i trasporti* - Esame generale ed economico del problema per la determinazione del tipo di impianto. Esame ambientale per la valutazione della domanda; scelta dell'ubicazione dell'impianto in relazione alla localizzazione della domanda ed alla struttura delle reti di trasporto; quantificazione della domanda per il dimensionamento dell'impianto. Studio particolare di alcuni impianti tipici:

a) *Parcheggio multipiano per autovetture*: criteri di dimensionamento, deposito delle auto, modalità di esercizio; soluzioni costruttive.

b) *Autostazioni*: esame del traffico di passeggeri e di autobus, scelta del tipo di piazzale; dimensionamento del piazzale e delle banchine; relazioni fra impianto e ambiente urbano, per quanto riguarda sia la circolazione veicoli sia quella dei pedoni.

c) *Autoporto*: esame del tipo di movimento merci; altre attività complementari o supplementari da svolgere nell'ambito dell'autoporto; collegamento con le reti stradale e ferroviaria; dimensionamento di massima dei magazzini, della ribalta, dei piazzali; scelta delle attrezzature per la movimentazione delle merci; particolare attenzione per il caso di uso di containers.

**Esercitazioni**

Progetto di massima di un impianto di trasporto.

**Propedeuticità:** Tecnica ed economia dei trasporti.

**Testi consigliati:**

Dispense redatte dal docente.

Testi monografici (in corso di stampa).

**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.

884

**RICERCA OPERATIVA**

Docente: **Giorgio Carpaneto** prof. inc. stab.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica)

**Programma**

Ottimizzazione in presenza di vincoli (programmazione lineare e quadratica. Problema dei trasporti. (Programmazione lineare mista e intera). Teoria dei Grafi (Tecniche reticolari. Albero. Problema assegnamento. Cammino minimo. Problemi di flusso. Centri. Locazione ottima di risorse. Tecniche di tipo combinatorio (Branch and Bound) per la ricerca di percorsi hamiltoniani).

Richiami di statistica. Simulazione di sistemi discreti. Cenni sulla teoria delle code.

**Testi consigliati**

G. CARPANETO, *Dispense*.

DABONI e altri, *Ricerca operativa*, Ed. Zanichelli, Bologna, 1975.

HILLIER, LIEBERMAN, *Ricerca operativa*, Ed. F. Angeli, Milano, 1974.

Esame scritto ed orale.

Per lo svolgimento di tesi di laurea è indispensabile aver frequentato "Controlli Automatici".

2011

**TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE**

Docente: **Giannino Praitoni** prof. inc. stab.

**Finalità del corso:** studio e valutazione dei sistemi di trasporto terrestri e loro organizzazione territoriale. In particolare il corso offre i primi fondamenti

per lo studio di un Piano dei Trasporti, nella fase conoscitiva e nella successiva fase di formulazione di modelli di mobilità futura.

### *Programma*

#### *La pianificazione dei trasporti*

Considerazioni preliminari, procedimenti metodologici per la pianificazione dei trasporti; preparazione alla fase conoscitiva.

Inventario della situazione attuale.

Studio dei movimenti attuali.

Previsione dei movimenti futuri.

Analisi di fattibilità.

#### *Elementi di teoria della circolazione*

Elementi di teoria del deflusso stradale.

Capacità dei sistemi di trasporto.

#### *Elementi di statistica e di ricerca operativa*

Elementi di calcolo delle probabilità e di statistica.

Programmazione lineare: 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.

*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.

#### *Testi consigliati*

A. ORLANDI, *Tecnica della circolazione*, Ed. Pàtron, Bologna.

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.

1031

### **TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI**

Docente: **Alessandro Orlandi** prof. ord.

*Finalità del corso*. Introdurre le nozioni necessarie alla impostazione di un qualunque problema di trasporti, sia di studio di veicolo, sia di organizzazione di un servizio, sia infine di progettazione di un sistema di trasporti territoriale. In

generale quindi si porge allo studente una visione globale impostata su un metodo sistemico, rivolto separatamente o complessivamente ai veicoli, ed alle reti. In particolare vengono date anche le opportune conoscenze sulla meccanica della locomozione.

#### *Problema generale dei trasporti.*

Analisi del fenomeno dei trasporti e definizione della sua problematica. Studio dei sistemi di trasporto e delle relazioni intercorrenti fra la progettazione e l'esercizio, tenuto conto sia del settore di interesse spaziale (territorio, azienda) e strutturale (via, veicolo, sistema) sia degli elementi di base che vi intervengono (l'ambiente, l'uomo, l'oggetto del trasporto, il dispositivo per il trasporto, il metodo decisionale).

#### *L'analisi dei sistemi nei problemi di trasporto.*

Richiami di teoria dei sistemi con applicazione ai problemi dei trasporti. Elementi di modellistica e di simulazione. Formulazione di modelli di studio di problemi di trasporto. Analisi ottimale di soluzioni alternative. Criteri di scelta. Criteri economici.

#### *Elementi di meccanica del moto*

Problemi generali di meccanica del moto. Formulazione di modelli semplificati dei veicoli. Equazione generale del moto, forze agenti, equilibrio. Aderenza; resistenza al moto. Forze propulsive: motori e sistemi di trasmissione. Caratteristica meccanica del veicolo. Forze frenanti; studio degli apparati frenanti. Stabilità del veicolo in condizioni statiche e dinamiche. Esercizio del trasporto: diagrammi di trazione, orario.

*Esercitazione* riguardante il progetto di organizzazione di un servizio di trasporto.

#### *Testi consigliati:*

A. ORLANDI, *Principi di ingegneria dei trasporti*, Ed. Patron, Bologna.

Dispense redatte dal docente.

E. STAGNI, *Meccanica della locomozione*, Ed. Patron, Bologna.

A. ORLANDI, *Tecnica della circolazione*, Ed. Patron, Bologna 1975.

A. ORLANDI, *I veicoli cingolati*, Ed. Patron, Bologna.

*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: **Paolino Camposano** prof. straord. (inc.)*Finalità*

Stabilire una logica unitaria nella trattazione dei problemi energetici relativamente ai vari modi di trasporto di superficie ed aereo, partendo dall'analisi delle resistenze caratteristiche del moto del veicolo nel mezzo (con le eventuali infrastrutture) e valutando gli impegni dell'apparato propulsivo in relazione alle prestazioni utili del trasporto.

*Programma*

- 1) Introduzione generale ai sistemi di trasporto.
- 2) Trasporti di superficie sull'aderenza - Definizione ed utilizzazione della potenza massima installata - Caratteristica esterna - Problemi della trasmissione di potenza - La trazione elettrica e la sua evoluzione più recente nei trasporti guidati di massa.
- 3) Trasporti di superficie sull'acqua - Analisi delle fondamentali resistenze di carena e determinazione delle occorrenze dell'apparato propulsivo e rispettive caratteristiche (propulsori convenzionali o particolari).
- 4) Trasporti aerei - Natura e generazione delle forze aerodinamiche nel volo subsonico e supersonico - Dinamica del volo - Utilizzazione della potenza propulsiva nei vari assetti e fasi del volo - Richiami di termodinamica per quanto riguarda i processi stazionari e cicli termodinamici nella propulsione a getto per velivoli commerciali e non.
- 5) Veicoli di superficie non convenzionali - Sostentamento a cuscino d'aria e ad azione magnetica (elettromagnetico ed elettrodinamico) - Resistenze indotte e problemi propulsivi.
- 6) Cenni su specifici problemi di infrastruttura connessi a determinati sistemi di trasporto commerciali.

*Testi consigliati:*

Dispense del corso *Trazione e Propulsione*.

Altri testi consigliati: quelli della Facoltà riguardanti i corsi di Macchine - Macchine elettriche - Aerodinamica e gasdinamica.

Esami esclusivamente orali.

Esercitazioni scritte su problemi pratici di trazione elettrica e propulsione navale/aerea.

Visite ad impianti riparatori di equipaggiamenti di trazione elettrica e Diesel-elettrica (F.S.).

*Tesi di laurea*

Studi e progetti di massima riguardanti più che altro gli equipaggiamenti di propulsione/trasmissione del moto sui mezzi di trasporto guidati e nella propulsione navale.

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA 2002**

02

**AERODINAMICA**

Docente:

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 incompressibile; 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

**ANALISI MATEMATICA I (per Meccanici e Minerari)**

Docente: Carlo Ravaglia prof. inc. stab.

*Scopo del corso:* fornire gli strumenti analitici di base necessari allo studio delle discipline scientifiche e tecniche, nonché abituare lo studente — per mezzo del metodo di ragionamento matematico — alla precisione e alla chiarezza.

*Programma*

Notazioni insiemistiche. Numeri reali e complessi. Successioni reali e complesse. Funzioni reali e complesse di una variabile reale: limiti e continuità. Le funzioni elementari in  $\mathbb{R}$  e in  $\mathbb{C}$ . Calcolo differenziale per funzioni di una variabile reale; teorema

del valor medio, formula di Taylor. Calcolo integrale per funzioni di una variabile reale; teorema fondamentale del calcolo integrale, integrazione delle funzioni razionali e di alcune classi di funzioni non razionali, alcune formule di quadratura. Serie in  $\mathbb{R}$  e in  $\mathbb{C}$ .

*Testi consigliati:*

Sono disponibili le dispense del corso.

1354

**ANALISI MATEMATICA II** (per Meccanici e Minerari)

Docente: **Enrico Obrecht** prof. straord.

*Scopo del corso:* fornire gli strumenti analitici di base necessari allo studio delle discipline scientifiche e tecniche, nonché abituare lo studente — per mezzo del metodo di ragionamento matematico — alla precisione e alla chiarezza.

*Programma*

Proprietà algebriche e topologiche di  $\mathbb{R}^n$ . Limiti e continuità per funzioni reali e vettoriali di più variabili reali.

Calcolo differenziale per funzioni reali e vettoriali di più variabili reali; estremi relativi (anche vincolati) di funzioni reali, funzioni implicite, applicazioni alla geometria differenziale.

Misura di Peano-Jordan; calcolo integrale per funzioni di più variabili reali; teorema di riduzione, cambiamento di variabili negli integrali multipli; integrali multipli generalizzati assolutamente convergenti.

Integrali curvilinei e di superficie; campi vettoriali; teoremi di Green, Gauss e Stokes.

Successioni e serie di funzioni; convergenza uniforme. Integrali dipendenti da un parametro. Serie di potenze in  $\mathbb{C}$ ; serie di Taylor in  $\mathbb{R}$  e in  $\mathbb{C}$ ; condizioni di analiticità di Cauchy-Riemann. Serie di Fourier.

Problema di Cauchy per le equazioni e i sistemi differenziali; alcune classi di equazioni differenziali integrabili per quadrature; integrazione numerica delle equazioni differenziali. Equazioni e sistemi differenziali lineari; il caso particolare dei sistemi a coefficienti costanti.

*Testi consigliati*

Sono disponibili dispense del corso.

R. COURANT, F. JOHN: *An Introduction to Calculus and Analysis*, Vol. 2, J. Wiley.

G. SILOV: *Analisi Matematica*, Vol. 3, Mir.

Gli esami comprendono una prova scritta preliminare e una prova orale.

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, Costruzione di macchine, Misure meccaniche.

6462

**CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE**Docente: **Antonio Natali** prof. inc.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Chimica).

1358

**CHIMICA (per Meccanici e Minerari)**Docente: **Lucedio Greci** prof. inc. stab.*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. Vengo-

no inoltre studiate le leggi fondamentali che governano la dinamica chimica. In particolare si intende dare allo studente la capacità di interpretare i processi 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; struttura elettronica degli elettroni negli 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 in gioco nelle reazioni; concetto di entalpia e termochimica; equilibrio chimico; legge dell'azione di massa; equilibri ionici in soluzione acquosa; acidi; basi; pH; soluzioni tampone; idrolisi; elettroliti anfoteri; equilibri eterogenei; prodotto di solubilità. Cinetica delle reazioni chimiche. Elettrochimica: pile; potenziali elettrodi; 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 quali: Mn, Fe, Cu, Cr e Ni; 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. Pellegrini, 1973.

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

### *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 - DE STEFANI, *Il trattamento delle acque per uso industriale*, Hoepli, Milano.
- 4) BIANCHI - 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.

4120

**CICLI DI FABBRICAZIONE**

Docente: Paolo Bariani prof. inc.

Il corso si propone di fornire agli allievi un'opportunità di sintesi e di collegamento tra gli argomenti più importanti trattati nei corsi fondamentali di carattere tecnologico, costruttivo e organizzativo. Lo scopo principale del corso è l'analisi critica dei processi tecnologici che consentano di realizzare, economicamente, il particolare, il gruppo o il complessivo con assegnate caratteristiche funzionali.

L'impostazione del corso è di tipo prevalentemente applicativo e prevede l'esame di numerosi esempi in parte tratti anche dalla pratica industriale nel contesto della realtà locale, con riferimento quindi a produzioni di piccola e media serie.

*Programma*

Analisi critica della scelta del materiale con particolare riguardo agli aspetti tecnico-economici connessi con i procedimenti di formatura per fusione, per deformazione plastica, per sinterizzazione; di asportazione di materiale; di saldatura e di trattamento termico.

Criteri di scelta del sistema produttivo per ottenere il particolare meccanico finito partendo dal grezzo o dal semilavorato, in relazione all'economia della lavorazione ed alle caratteristiche di finitura superficiale e tolleranze dimensionali e di forma.

Criteri di ottimizzazione delle fasi operative in vista dell'ottenimento delle caratteristiche fisico-meccaniche finali del pezzo, della lavorazione per famiglie di pezzi, dell'assemblaggio o montaggio dei gruppi e dei complessivi.

Modifiche al disegno costruttivo del pezzo in relazione alla scelta del materiale e del ciclo di fabbricazione.

Sistemi automatizzati di manipolazione e di montaggio.

Esempi tratti dalla pratica industriale.

*Testi consigliati:*

G. FARAUDO, *Critica economica del progetto meccanico*.

ASME, *Metals handbook*.

E. PAUL DE GARMO, *Materials and processes*.

Durante lo svolgimento del corso verranno preparate dispense.

Gli esami constano di una prova orale.

Indirizzo delle tesi: ottimizzazione del ciclo costruttivo di pezzi e gruppi.

2022

## COMPLEMENTI DI COSTRUZIONE DI MACCHINE

Docente: Gianluca Medri, prof. inc.

L'insegnamento è rivolto agli studenti che, desiderando dedicarsi alla progettazione costruttiva, necessitano di un approfondimento delle loro conoscenze nel campo dell'analisi strutturale.

Il corso è impostato in maniera piuttosto teorica con l'intento di fornire metodi generali per una analisi non semplificata dei problemi ingegneristici, tuttavia è costante il riferimento a problemi pratici.

### Programma

Il corso è articolato in cinque parti:

- *Meccanica dei continui*: cenni di calcolo tensoriale, cinematica dei solidi deformabili, analisi delle tensioni, relazioni costitutive.
- *Teoria dell'elasticità*: elasticità in piccole deformazioni, elasticità in grandi deformazioni.
- *Teoria della viscoelasticità*: viscoelasticità lineare, viscoelasticità non lineare in materiali metallici, viscoelasticità in grandi deformazioni.
- *Effetti termici*: tensioni termiche in solidi elastici, effetti termici in viscoelasticità, termodinamica delle deformazioni.
- *Resistenza dei materiali non metallici*: polimeri, compositi e ceramici.

### Propedeuticità consigliate:

Scienza delle costruzioni, Meccanica applicata alle Macchine, Costruzione di Macchine.

### Testi consigliati:

Appunti distribuiti dal docente, inoltre una esauriente bibliografia è a disposizione di chi ne facesse richiesta.

### Esame

L'esame consta di una parte orale e di una parte scritta. La parte orale consiste

nella dissertazione di un argomento a scelta dello studente, mentre la parte scritta si compone di tre prove da sostenere durante lo svolgimento del corso.

#### *Tesi di Laurea.*

Le tesi di laurea hanno un carattere prevalentemente di ricerca teorica e/o sperimentale.

#### *Frequenza*

Il docente consiglia una frequenza sistematica alle lezioni.

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 regolano 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:* Generalità, studio teorico e criteri di proporzionamento delle turbine idrauliche (ad azione ed a reazione) e delle pompe centrifughe. Le curve caratteristiche. La similitudine nelle macchine idrauliche. I problemi di cavitazione. Le macchine reversibili.

*Motori a combustione interna:* Generalità, cicli ideali e reali, studio teorico e criteri di proporzionamento dei motori alternativi. Combustione e condizioni limite di funzionamento nei motori ad accensione per compressione e per scintilla.

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) D. GIACOSA, *Motori endotermici*, Hoepli.
- 2) C.F. TAYLOR, *The Internal Combustion Engine*, Wiley.
- 3) M.J. ZUCROW, *Aircraft and Missile Propulsion*, Vol. I Wiley.
- 4) L. VIVIER, *Turbine Hydrauliques*, Albin Ed.

L'esame è costituito da una prova orale.

*Indirizzo delle tesi di laurea:*

- 1) – Dimensionamento termofluidodinamico di macchine o di loro componenti.
- 2) – Sperimentazioni su macchine o su loro componenti.

6472

### **COMPLEMENTI DI MECCANICA APPLICATA**

Docente: **Umberto Meneghetti** prof. ord.

Il Corso si propone di approfondire alcuni argomenti di Meccanica delle macchine, di particolare interesse professionale per gli allievi ingegneri meccanici.

#### *Programma*

Dinamica e vibrazioni delle macchine: vibrazioni libere e smorzate di sistemi a uno, a due e a molti gradi di libertà; metodi numerici per lo studio delle vibrazioni di sistemi a parametri concentrati; vibrazioni transitorie; vibrazioni non lineari; vibrazioni di sistemi continui; vibrazioni casuali; analisi sperimentale delle vibrazioni; problemi di vibrazioni e rumorosità delle macchine.

Meccanica degli azionamenti: sistemi a camme (tipologia, leggi del moto, elementi geometrici, vibrazioni, particolarità costruttive); sistemi articolati (analisi e sintesi automatica, analisi dinamica, bilanciamento); ingranaggi (calcolo, vibrazioni, rumore); trasmissioni e azionamenti meccanici di altro tipo (meccanismi per moto intermittente, catene articolate, ecc.).

Nell'ambito della finalità e degli argomenti sopra esposti, alcuni dettagli del programma potranno di volta in volta venire definiti d'intesa fra il docente e gli allievi, tenendo presenti eventuali interessi particolari manifestati da questi ultimi. Agli allievi viene data inoltre la possibilità di svolgere, con l'assistenza del docente, una breve tesi su un argomento trattato nel Corso.

*Propedeuticità consigliate:* Meccanica applicata alle macchine, Calcolo numerico e programmazione.

*Esame:* consiste in una prova orale.

*Tesi di laurea:* prevalentemente di tipo numerico o sperimentale, sugli argomenti trattati nel Corso o su argomenti affini.

**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 alcune nozioni sul comportamento meccanico dei materiali e sulla meccanica delle strutture, si sviluppano i metodi di calcolo che permettono di determinare le dimensioni fondamentali dei vari organi delle macchine ed i criteri per il loro dimensionamento nelle varie condizioni di esercizio per giungere alla realizzazione del disegno costruttivo.

*Programma*

Il programma del corso comprende: una prima parte "Meccanica dei materiali" dedicata prevalentemente allo studio del comportamento volumetrico dei materiali metallici da costruzione sotto sollecitazioni semplici e composte (statiche, di fatica, creep) in campo elastico ed oltre il limite elastico con alcuni cenni anche sul comportamento superficiale. Vengono infine dati, ai fini della progettazione deterministica, criteri per la valutazione della tensione ammissibile oltre a cenni sulla progettazione probabilistica (affidabilità); una seconda parte "Meccanica delle strutture" dedicato allo studio di elementi strutturali non trattati in corsi precedenti (travi a grande curvatura, piastre circolari, gusci di rivoluzione in regime membranale) e di procedimenti numerici (metodo matriciale, metodo dell'elemento finito) e sperimentali (metodo fotoelastico, metodo estensimetrico) per la valutazione di stati di sollecitazione; una terza parte dedicata allo studio del dimensionamento di organi di macchine (collegamenti ed organi di collegamento, assi ed alberi, perni e cuscinetti, ruote dentate, giunti per alberi, innesti, molle, organi dei manovellismi).

*Propedeuticità consigliata:* Disegno, Disegno II; Meccanica Applicata alle Macchine, Scienza delle Costruzioni, Tecnologia Meccanica.

*Testi consigliati:*

F. CABONI, *Costruzione di Macchine*, Ed. Pitagora, Bologna.

Appunti integrativi distribuiti dal docente

THOMAS CHARCHUT, *Ingranaggi*, Ed. Tecniche Nuove, Milano.

R. GIOVANNOZZI, *Costruzione di Macchine*, Vol. I e II Patron, Bologna.

E. MASSA, *Costruzione di Macchine*, Vol. I e II, Tamburini, Milano.

R.E. PETERSON, *Stress Concentration Factors*, Wiley, New York.

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 vari argomenti di ricerca.

5798

**COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE**Docente: **Gabriele Vassura**, prof. inc.

*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); di trattare infine alcuni problemi generali di crescente importanza nella progettazione di macchine in generale e di macchine automatiche in particolare (comportamento dinamico, vibrazioni, rumorosità).

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.

**COSTRUZIONI AERONAUTICHE**Docente: **Franco Persiani** prof. inc.

Il corso si propone di dare le nozioni fondamentali sulle macchine aeree, i loro criteri costruttivi ed i principi teorici che le governano. Esso prende dall'Aerodinamica e dalla Meccanica del volo i concetti fondamentali per la trattazione dei problemi del volo, dando una visione delle tecniche e dei metodi di calcolo strutturale e delle possibilità e limitazioni del mezzo aereo.

*Programma*

Il Corso si compone di una parte teorica ed una applicativa.

Nella prima vengono trattati argomenti basilari per la progettazione dei velivoli: richiami di aerodinamica applicata, strutture degli aerei, materiali, spettri di carico, teoria del semiguscio, instabilità delle strutture in pareti sottili, aeroelasticità statica a dinamica; progetto e prestazioni dei velivoli, meccanica del volo, propulsori aeronautici ed eliche; fatica e meccanica della frattura, criteri di manutenzione, norme di certificazione e collaudo.

Nella parte applicativa viene sviluppato dagli allievi, divisi in gruppi, il progetto di massima di un velivolo di cui vengono assegnate le specifiche.

Esso si articola nelle fasi di progettazione concettuale, definizione della configurazione e del layout strutturale, analisi parametriche delle prestazioni, previsione dei pesi e delle caratteristiche aerodinamiche, calcolo strutturale degli elementi principali.

Ogni gruppo di allievi ha la responsabilità primaria di un particolare aspetto della progettazione, sul modello di un ufficio tecnico di una industria aeronautica.

*Propedeuticità consigliate:* Aerodinamica.

*Testi consigliati:*

Dispense del corso.

LAZZARINO, MARINI, *Costruzioni Aeronautiche*.

LAUSETTI, *Gli aeroplani e le loro strutture*.

GABRIELLI, *Lezioni sulla scienza del progetto di aeromobili*.

GIAVOTTO, *Strutture aeronautiche*.

MEGSON, *Aircraft Structures for Engineering Students*.

CONTI, *Elementi di aerotecnica*.

L'esame consiste in una prova scritta ed una orale sul programma noto, preceduta da un breve colloquio interessante l'aerodinamica per gli allievi che non hanno compreso nel loro piano di studi il relativo esame.

Le tesi di laurea hanno carattere di progettazione o di ricerca sperimentale.

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 e Minerari)**Docenti: **Giuseppe Cantore** prof. inc. stab. (Meccanici A-K e Minerari)**Gino Ferretti** prof. inc. (Meccanici L-Z)*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 ele-

menti 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 Editore.

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)**

Docenti: **Giordano Conti** prof. inc. stab. (Meccanici A-K e Minerari)

**Edzeario Prati** prof. inc. (Meccanici L-Z)

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 dalla analisi dei vari tipi di disegno: di studio, costruttivo, di montaggio, di accoppiamento ed ingombro, di impianto.

Si approfondiscono i semplici argomenti di tecnologia meccanica accennati nel corso di Disegno, per poter realizzare la quotatura più appropriata, e si insiste sul come migliorare il disegno di un pezzo al fine di semplificarne la costruzione.

Si passa poi a considerare l'aspetto funzionale dei pezzi meccanici e loro intercambiabilità (tolleranze dimensionali e di forma).

Si indaga poi, in modo sistematico, su alcuni elementi fondamentali delle costruzioni meccaniche: collegamenti fissi e scomponibili, cuscinetti a rotolamento, organi di tenuta statici e dinamici.

Noti così gli elementi fondamentali del disegno meccanico, si passa a dare all'allievo le conoscenze fondamentali sugli organi delle trasmissioni meccaniche, sugli organi dei circuiti idraulici e pneumatici e sulle loro rappresentazioni convenzionali. Si eseguono complessivi di macchine rotative ed alternative. A completamento del corso si esegue il disegno di una macchina elementare.

*Propedeuticità consigliate:* Disegno.

*Testi consigliati:*

UNI MI, *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 Libreria.

MICHELETTI, *Tecnologia meccanica*, Levrotto e Bella.

CAPELLO, *Fonderia*, Signorelli.

PAPULI-COLANTONI, *Manuale dello stampaggio a caldo*, Tamburini.

STRASSER, *Practical design of sheet metal stamping*, Chapman e Hall.

*Svolgimento degli esami:* L'esame è costituito da una prova grafica e da una prova orale a carattere integrativo. L'esito della prova grafica è vincolante per l'accesso alla prova orale.

251

## **ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE**

Docente: **Giorgio Bartolozzi** prof. ord. (supplente)

### **1. Concetti introduttivi di organizzazione**

Caso Burger - Il sistema produttivo - Concetto di organizzazione - L'azienda nel sistema economico - Approcci di studio dell'impresa - L'azienda e l'ambiente  
Teorie organizzative - Si può scegliere un modello organizzativo?.

### **2. Il marketing**

Mercato, segmentazione, posizionamento - Ciclo di vita del prodotto Marketing mix - Aspetti organizzativi del marketing.

### **3. Il sistema operativo**

Introduzione - Le variabili di manufacturing mix - Tipi di sistemi produttivi  
Aspetti organizzativi della produzione.

### **4. La funzione progettazione (ricerca e sviluppo)**

### **5. La gestione del personale**

La funzione del personale: ruolo e mansioni - Struttura del sindacato e livelli

della contrattazione - Il problema della organizzazione del lavoro esecutivo.

6. *Le strutture organizzative*

Criteri di suddivisione del lavoro e modalità di coordinamento - L'organizzazione e le sue leve - Strutture organicistiche e meccanicistiche.

7. *La gestione economico-finanziaria*

Introduzione al bilancio - Analisi di bilancio e indici - Il controllo di gestione - Il budget - Aspetti organizzativi della funzione di gestione economico-finanziaria  
Il sistema pianificazione e controllo.

8. *Esercitazioni*

Analisi organizzativa di una azienda - Analisi di un sistema industriale locale.

*Testi consigliati*

G. BERNARDI, C. SORDI: *Come progettare la struttura aziendale*, Etas Libri, 1978.

S. SCIARELLI; *Il sistema d'impresa*, CEDAM 1982.

E.S. BUFFA: *Modern Production/Operations Management*, J. Wiley, 1980.

RIVISTE: *Harward Espansione; Analisi*.

6794

**ELETTROTECNICA**

Docente: **Raffaello Sacchetti** prof. inc. stab.

*Finalità del corso.*

Il criterio ispiratore del corso è quello dell'approfondimento dei concetti e delle metodologie fondamentali riguardanti lo studio dei fenomeni elettromagnetici. Vengono in particolare evidenziati i più importanti procedimenti di calcolo dei circuiti elettrici e magnetici e viene affrontato lo studio delle macchine, con particolare riguardo ai trasformatori, alle macchine asincrone e in corrente continua, seguendo un'impostazione fondata su una logica unitaria di carattere generale. Sulla base della teoria, vengono trattate numerose questioni di considerevole interesse tecnico, fra le quali anche quelle relative agli impianti elettrici a media e a bassa tensione.

*Programma*

Equazioni fondamentali dell'elettromagnetismo — Elettrostatica — Elettromagnetismo stazionario: circuiti elettrici; circuiti magnetici lineari e non lineari — Elettromagnetismo quasi stazionario — Bilancio energetico dei sistemi elettroma-

gnetici: calcolo di energie, forze e coppie — Transitorio dei circuiti elettrici — Correnti alternate: leggi di Ohm e di Kirchoff simboliche; potenza attiva e reattiva; rifasamento; strumenti elettrodinamici di misura — Sistemi trifase: collegamenti a stella e a triangolo; misura delle potenze; sistemi trifase con neutro — Macchine elettriche: ipotesi di campo; perdite nel ferro — Trasformatore: equazioni; rete equivalente; funzionamento a vuoto e in cortocircuito; rendimento; trasformatori di misura; trasformatori trifase — Macchine rotanti in c.a.: nozioni costruttive; campi al traferro; f.e.m. indotta da un campo rotante — Macchine asincrone: equazioni; teorema di equivalenza; coppia; funzionamento da motore, generatore, freno; caratteristica meccanica; avviamento; rotor a gabbia — Macchine sincrone — Macchine in c.c.: f.e.m. alle spazzole; equazioni; coppia; caratteristica esterna; dinamo autoeccitata; motori con eccitazione in parallelo e in serie; caratteristiche 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

**FISICA I** (per Meccanici e Minerari)

Docente: **Antonio Vitale** prof. straordinario (inc.)

Scopo del corso è quello di presentare i principi della fisica (meccanica e termodinamica) da un punto di vista unitario e di sottolineare il più possibile che "la prova di tutte le conoscenze è l'esperimento".

*Programma*

Analisi vettoriale — Rappresentazione di moti — Cinematica — Fondamenti della dinamica (I, II, III principio).

Lavoro, Energia, Impulso. Moti rotatori dei corpi rigidi — Sistemi di riferimento accelerati. Definizione e misura della temperatura. 1° principio della termodinami-

ca ed equazione di Stato dei gas perfetti: Gas reali e vapori — Gas perfetti e teoria cinetica. 2° principio della Termodinamica. Entropia. Generalità sulla conduzione e sulla propagazione del calore. Macchine termiche.

*Testi consigliati:*

- P. VERONESI - E. FUSCHINI, *Fondamenti di Meccanica Classica*, (Ed. Cooperativa Libreria Universitaria).  
 M.W. ZEMANSKY, *Calore e Termodinamica*, (Ed. Zanichelli).  
 M. ALONSO - E.J. FINN, *Elementi di Fisica per l'Università*, Vol. 1 Meccanica (Ed. Addison-Wesley).  
 G. BERNARDINI, *Fisica Generale*, (Ed. Veschi).  
 E. FERMI, *Termodinamica*, (Ed. Boringhieri).

L'esame è costituito da una prova scritta e da una prova orale.

1371

**FISICA II (Meccanici e Minerari)**

Docente: **Pietro Bassi** prof. ord.

*Finalità del corso*

Introduzione con *ricchiemi sperimentali* delle leggi fisiche relative a Eletticità, Magnetismo, Onde, Ottica.

*Programma*

Fenomeni elettrici e magnetici statici.  
 Fenomeni elettromagnetici dipendenti dal tempo.  
 Descrizione matematica della propagazione per onde.  
 Onde elettromagnetiche.  
 Onde luminose in mezzi isotropi ed anisotropi.  
 Interferenza.  
 Diffrazione.

*Propedeuticità consigliate:* Fisica I.

*Testi consigliati:*

ALONSO-FINN, *Elementi di Fisica per l'Università*, Vol. II Edizione Bilingue — Addison Wesley.

In parallelo al corso vengono tenute lezioni di "Problemi di Fisica II".

A seconda delle circostanze l'esame sarà preceduto da una prova scritta oppure problemi analoghi potranno essere discussi, tra le altre domande, all'esame orale.

6796

**FISICA TECNICA**Docente: **Sandro Salvigni** prof. ord.*Finalità del corso*

Il corso vuole costruire l'anello di congiunzione tra gli insegnamenti di Fisica Sperimentale e di Meccanica Razionale del biennio propedeutico e quelli applicativi propriamente detti: Macchine, Impianti Meccanici, ecc.; in particolare sviluppa argomenti di Termofisica, Acustica Tecnica ed Illuminotecnica.

*Programma*

*Termodinamica*: Generalità e primo principio. Trasformazioni ideali e trasformazioni reali. Sistemi chimicamente omogenei. Proprietà termodinamiche dei gas reali. Diagrammi termodinamici di usuale impiego in termotecnica. Sistemi a più componenti non reagenti, in fase gassosa. Termodinamica del sistema aperto.

*Fluidodinamica*: Moto di un fluido. Equazione integrali.

*Termocinetica*: La conduzione. La convezione. L'irraggiamento. La contemporanea presenza di diverse modalità di scambio.

*Energetica*: Bilancio energetico nazionale. Fonti alternative di energia.

*Acustica tecnica*: Acustica fisica. Acustica psicofisica. Acustica architettonica. Il controllo della rumorosità. Vibrazioni meccaniche.

*Propedeuticità consigliate*: Idraulica.

*Testi consigliati*:

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

A. GIULIANINI, A. COCCHI, *Acustica Tecnica*, Ed. Petroni, Bologna, 1973.

AUTORI DIVERSI, *Esercizi di Fisica Tecnica*, Ed. Petroni, Bologna, 1974/75/76.

L'esame è costituito da una prova orale riguardante sia gli argomenti teorici riportati nel programma del corso, sia alcuni tra i complementi di teoria ed i relativi esercizi che vengono svolti nel corso di 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.

5517

**GENERATORI DI VAPORE**Docente: **Sandro Sandrolini**, prof. inc. stab.

Tale corso fa parte di un indirizzo di progettazione termofluidodinamica, di

cui si intende avviare l'attuazione, nel quale i singoli insegnamenti costituiranno sviluppi ed approfondimenti delle conoscenze di base sui vari tipi di apparati già trattati nei corsi di Macchine e Complementi di Macchine.

Nella prima parte del corso vengono approfondite le conoscenze sui più importanti tipi di generatori convenzionali e nucleari esaminandoli dal punto di vista architettonico e funzionale, ed anche in relazione all'uso cui è destinato il vapore prodotto.

Esaminando poi gli elementi costitutivi dei generatori, vengono approfondite le conoscenze su fenomeni peculiari di queste macchine quali ad esempio la combustione in fiamme di diffusione, l'influenza dei parametri costruttivi delle camere di combustione e dei bruciatori sulla cinetica della combustione, il problema della separazione del vapore, ed i vari sistemi di attuazione della stessa.

Vengono forniti inoltre elementi di progettazione termofluido dinamica del circuito acqua-vapore e del circuito dei fumi con particolare riferimento rispettivamente ai problemi di stabilità della circolazione, controllo del titolo di vapore, scambio termico tra superfici dei tubi e fiamme e al dimensionamento del circuito e delle soffianti per la circolazione dei fumi.

Infine un'ultima parte del programma è rivolta allo studio degli ausiliari del generatore, quali pompe di alimento, valvole, livelli, sistemi di sicurezza, con speciale riferimento alle caratteristiche richieste dal particolare impiego e dalla normativa vigente.

#### *Testi consigliati*

Appunti redatti dal Docente.

- D. ANNARATONE, *Generatori di vapore*, Tamburini, Milano.  
 A. ZINZEN, *Dampfkessel und Feuerungen*, Springer, Verlag.  
 M. LEDINEGG, *Dampferzeugung*, Springer, Verlag.

*Esami orali.*

*Tesi di laurea a carattere progettuale o bibliografico.*

1375

**GEOMETRIA** (per Meccanici e Minerari)

Docente: **Loris Molinari** prof. inc. stab.

Il corso ha lo scopo di destare una sensibilità geometrica negli studenti e di fornire loro le nozioni e gli strumenti che saranno utilizzati nei corsi applicativi.

#### *Programma*

*Algebra* (Insiemi — Applicazioni — Strutture — Elementi di algebra delle matrici.

Cenni di calcolo combinatorio — Determinanti. Sistemi di equazioni lineari — Polinomi ed equazioni algebriche in una variabile.

*Geometria* (Lo spazio euclideo, affine e proiettivo ad  $n$  dimensioni — Geometria analitica affine ed euclidea del piano. Studio delle curve — Geometria affine ed euclidea dello spazio ordinario. Studio delle curve e delle superficie — 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.

6799

## **IDRAULICA**

Docente: **Giambattista Scarpi** 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 delle 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 superficie 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  $\pi$ . Costanti meccaniche dei liquidi. Equazione di continuità. Equazione del moto per mezzi continui. Idrostatica: forze idrostatiche trasmesse a pareti solide, equilibrio dei galleggianti. Azione di getti su superficie 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:**

Dispense approvate dal docente.

G. SUPINO, *Idraulica*, Patron.

CITRINI-NOSEDA, *Idraulica*, Ed. Ambrosiana.

Appunti dalle lezioni del Prof. Cocchi, Cooperativa Libreria Universitaria Ed.

**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 degli 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 incenerimen-

to. 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.

6541

## **IMPIANTI TECNICI INDUSTRIALI**

Docente: **Oddo Pierfederici** prof. straordinario.

L'indirizzo impiantistico istituito con il presente a.a. ha lo scopo di approfondire problemi tecnici ed organizzativi dell'industria. Questo nuovo corso, qualificante l'indirizzo, affronta alcune tematiche di grande attualità.

### *Programma*

*Impianti energetici.* Produzione combinata di energia elettrica e termica da combustibili. Produzione elettricità e fluidi caldi da energia solare. Applicazioni delle pompe di calore nell'industria. Economie di energia elettrica in fase di progetto e di esercizio. Recupero termico da processi industriali.

*Impianti per il benessere negli ambienti di lavoro.* Sistemi di riscaldamento ambientale. Condizionamento di reparti ed uffici. Ventilazione e ricambi d'aria. Aspirazione polveri, vapori e gas. Protezioni contro l'inquinamento acustico. Protezioni contro i pericoli elettrici. Protezioni antincendio. Illuminazione naturale ed artificiale. Normative.

*Impianti di trattamento scarichi industriali.* Smaltimento di rifiuti solidi e recuperi. Depurazione scarichi liquidi e ricircolo acqua. Purificazione scarichi gassosi e recuperi termici. Normative.

*Testi consigliati:*

Appunti del docente.

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, utilizzando le dette fonti di energia. Vengono anche richiamate le fonti di energia ed i generatori di vapore nucleari.

Richiamati i bilanci energetici, le trasformazioni termiche e gli scambi di energia, viene poi svolta la trattazione delle macchine motrici a vapore, alternative ed a turbina, e dei relativi circuiti termici ed impianti.

Vengono poi discussi i fluidi frigoriferi e trattati gli impianti frigoriferi a compressione di gas e di vapori, la liquefazione dei gas permanenti e le 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.

670

**MACCHINE UTENSILI**Docente: **Angelo Andrisano** prof. inc. stab.

Il corso ha lo scopo di fornire allo studente le nozioni necessarie per la stesura di un ciclo di lavorazione, ossia della sequenza logica delle operazioni che occorre eseguire per ottenere un pezzo finito partendo da un grezzo o da un semilavorato.

*Programma*

Le lavorazioni considerate avvengono mediante asportazione di truciolo. Pertanto viene preliminarmente esaminato il meccanismo del taglio dei metalli con utensili a punta singola. Questa prima parte viene completata dall'esame delle caratteristiche di taglio e dalla loro scelta in base a criteri economici.

Il corso tratta, quindi, delle macchine utensili convenzionali e delle lavorazioni da esse effettuabili. Questa parte, prevalentemente descrittiva, fornisce an-

che alcune nozioni relative al proporzionamento di alcuni organi fondamentali, come i mandrini e le guide.

Proseguendo nella descrizione delle macchine utensili, il corso prende in esame i sistemi produttivi più recenti, come le macchine a controllo numerico ed i centri di lavorazione.

Una parte del corso, infine, è dedicata allo studio delle attrezzature di fissaggio e di lavoro, tra le quali spiccano gli apparecchi idrocopianti, ed alla descrizione dei comandi meccanici, idraulici ed elettrici delle macchine utensili.

Per una proficua partecipazione al corso è necessario la conoscenza dei fondamenti di Meccanica applicata alle macchine, Costruzione di macchine, Tecnologia meccanica.

#### *Testi consigliati:*

- 1) E. FUNAIOLI, *Lezioni di macchine utensili*, ed. Cooperativa Libreria Universitaria.
- 2) *Appunti integrativi distribuiti dal docente.*
- 3) A. ANDRISANO, W. GRILLI, *Esercitazioni di macchine utensili*, Pitagora 1981.
- 4) M. FLEGO, *L'impiego del controllo numerico nella produzione meccanica*, F. Angeli Ed. 1975.
- 5) UNI M3, *Norme per gli utensili che lavorano con asportazione di truciolo.*

L'esame consiste in una prova scritta, concernente la stesura di un ciclo per la lavorazione di un particolare meccanico, e in una prova orale.

Le esercitazioni sono orientate verso lo studio delle attrezzature impiegate nelle lavorazioni di piccole e medie serie di pezzi.

L'indirizzo delle tesi di laurea è prevalentemente applicativo, con particolare riferimento all'analisi di 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 at-

trito 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 componenti meccanici.

*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.

1379

**MECCANICA RAZIONALE** (per Meccanici e Minerari)

Docente: **Claudio Tebaldi** prof. inc. stab.

Il corso si propone di esporre mediante i soli strumenti matematici (assiomi, ipotesi, modelli, teoremi e logica matematici) le questioni essenziali della prima fondamentale parte della fisica: la meccanica. Il corso tratta perciò lo studio del movimento e dell'equilibrio dei sistemi materiali — schematizzati con modelli matematici — soprattutto dei corpi assimilabili a punti, dei corpi rigidi e dei sistemi costituiti da parti rigide fra loro articolate.

*Programma*

Il programma si divide in quattro parti: una prima parte tratta del calcolo vettoriale dei vettori liberi ed applicati, ed ha scopo propedeutico; una seconda parte, la cinematica, descrive la geometria dei movimenti dei sistemi meccanici; una terza, la statica, studia le cause e circostanze (forze e vincoli) che mantengono in quiete un sistema materiale, mediante i due procedimenti generali per la determinazione delle condizioni di equilibrio; una quarta parte, la dinamica, studia il movimento dei sistemi anche da un punto di vista causale (forze, vincoli e condizioni iniziali) con i teoremi fondamentali, ed affronta lo studio di particolari sistemi e di particolari movimenti di interesse generale.

Per seguire il corso sono necessarie le conoscenze di Analisi matematica I e II, Geometria, Fisica I.

*Testi consigliati:*

D. GRAFFI, *Elementi di Meccanica Razionale*, Patron, Bologna.

- D. GRAFFI, *Esercizi di Meccanica Razionale*, Patron, Bologna.  
 C. AGOSTINELLI e A. PIGNEDOLI, *Meccanica Razionale*, Zanichelli, Bologna.  
 B. FINZI, *Meccanica Razionale*, Zanichelli, Bologna.  
 A. PIGNEDOLI, *Complementi di Statica*, CEDAM, Padova.  
 E. TONTI, *La risoluzione degli esercizi di Meccanica Razionale*, Clup, Milano.  
 G. GRIOLI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Cortina, Padova.  
 C. CERCIGNANI, *Spazio, tempo, movimento (Introd. alla Mecc. Raz.)*, Zanichelli, Bologna.  
 G. FERRARESE, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Pitagora, Bologna.

Il programma dettagliato è esposto presso l'Istituto di Matematica. "Pincherle" e presso l'Istituto di Matematica Applicata, v. Vallescura 2.

L'esame, accanto ad una eventuale prova scritta, prevede sempre uno o più esercizi da svolgere alla lavagna, oltre a domande sul programma.

Nella parte orale, domande di teoria ed esercizi da svolgere alla lavagna.

1140

#### MISURE MECCANICHE E TERMICHE

Docente: **Giorgio Minelli** prof. ord. (inc.)

##### *Finalità del corso:*

Il corso intende fornire conoscenze sulle tecniche impiegate nell'effettuazione delle misure sulle principali grandezze fisiche di interesse nell'ingegneria meccanica. Vengono forniti i mezzi per la valutazione dell'attendibilità delle misurazioni effettuate. Infine si dà un esempio di collaudo inteso come verifica delle condizioni funzionamento di una macchina o di un impianto, sulla base dei risultati delle misure di diversi parametri.

##### *Programma*

*I problemi generali delle misure:* i sistemi di unità di misura. Gli errori di misura. Critica dei risultati delle misure sia dirette, sia indirette. Le caratteristiche di misura degli strumenti. Le grandezze rapidamente variabili nel tempo.

*Misure di deformazioni:* estensimetri meccanici e a variazione di resistenza elettrica, Lacche fragili, Fondamenti di fotoelasticità.

*Misure di pressione:* strumenti assoluti e tarati, per tutti i campi di pressioni. Trasduttori per rilievi di pressioni rapidamente variabili. Gli indicatori.

*Misure di vibrazioni:* vibrografi meccanici e trasduttori elettrici. Gli accelerometri.

*Misure di temperatura:* i sistemi più diffusi di misure di temperatura, sia per laboratori che per l'industria.

*Analisi dei prodotti di combustioni:* sistemi chimici e fisici.

*Misure di velocità:* vari sistemi per la misura della velocità di rotazione.

*Misure di portata.* Contatori volumetrici per liquidi e per gas. Sistemi a strozzamento in varie versioni; trasduttori. Misure indirette attraverso determinazione della velocità del fluido.

*Trasduttori di spostamento e di livello di liquido:* in recipienti aperti e chiusi.

*Misure di forze, momenti torcenti e potenze:* vari tipi di trasduttori. I freni dinamometrici più impiegati.

*Problemi generali di collaudo:* il collaudo del motore a combustione interna.

*Propedeuticità consigliate:* Fisica tecnica, Idraulica.

*Testi consigliati:*

- 1) GIORGIO 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: **Franco Giacomazzi** prof. inc. stab.

### *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 economiche 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.

5799

### **PROGETTAZIONE ASSISTITA DI STRUTTURE MECCANICHE**

Docente: **Pier Gabriele Molari** prof. straord.

Il corso si propone di mettere gli allievi in grado di progettare con l'ausilio dell'elaboratore elettronico.

#### *Programma*

##### *Introduzione alla progettazione assistita*

Il concetto di "data base" unico per l'azienda meccanica, vantaggi della progetta-

zione assistita e integrata con la produzione, l'impostazione del progetto con l'ausilio del calcolatore, la scelta dell' "hardware" per l'industria meccanica.

#### *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 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, l'impostazione matriciale del calcolo strutturale, il calcolo degli alberi di macchina, il calcolo delle strutture piane e spaziali con l'elemento finito, il calcolo delle strutture vibranti, i "packages" disponibili e criteri per la loro scelta, problemi di ottimizzazione con modelli lineari e non lineari.

#### *Il calcolo cinematico e dinamico*

Impostazione del calcolo vettoriale con l'elaboratore elettronico, tecniche di codifica e di rappresentazione dei cinematismi, i "packages" disponibili e criteri per la loro scelta.

#### *Il calcolatore come acquisitore di dati*

Rilievo dei dati da prototipo e loro analisi, tecniche per il trattamento dei segnali, l'analisi modale, l'interazione con il calcolo strutturale e la progettazione, il "software" disponibile e criteri di scelta.

Durante le *esercitazioni* si realizzano programmi di calcolo utilizzando il calcolatore della Facoltà.

#### *Propedeuticità consigliate:*

Un corso di programmazione, Meccanica applicata alle macchine, Scienza delle costruzioni, Costruzione di macchine.

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 Strength and Production*, Macmillan 1970.

#### *Indirizzo delle tesi di laurea:*

— Sperimentale; di progettazione.

886

**SCIENZA DEI METALLI**Docente: **Giampaolo Cammarota** prof. straordinario.*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 corrosivistico 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) DANY SINIGAGLIA, *Metallurgia*, Edizioni CLUP, Milano.
- 2) W. HAYDEN, W.G. MOFFAT, J. WULFF, *Proprietà meccaniche*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano.
- 3) IGNAZIO 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**

Docente: Angelo Di Tommaso prof. ord.

(V. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica).

2011

**TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE**

Docente: Giannino Praitoni prof. inc. stab.

(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 collocazione 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, sulfinitizzazione, processi Tecnifer e Ni-Temper, bo-

durizzazione). 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, termoidurenti. Criteri di progettazione.

*Propedeuticità consigliata:* Tecnologia Meccanica.

*Testi consigliati:*

VESCHI D., *L'acciaio ed 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**

Docenti: **Fabio Soavi** prof. inc. stab. (Meccanici A-K)

**Orio Zurla** prof. inc. stab. (Meccanici L-Z)

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 tecnologie 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: **Paolino Camposano** prof. straord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Sez. Trasporti)

Il corso si propone di presentare, in un quadro organico generale, i problemi dei vari modi di trasporto, sia dal punto di vista dell'impiego energetico, sia da quello delle relative soluzioni sul piano operativo del sistema propulsivo.

Gli argomenti trattati sono: Trazione sull'aderenza; utilizzazione della poten-

za del propulsore; trasmissioni. Trazione elettrica sull'aderenza e con motore lineare. Propulsione navale. Propulsione aerea compreso il sostentamento. Trasporti di superficie non convenzionali; cuscino d'aria e sistemi a sostentamento magnetico.

Sono necessarie le conoscenze dell'Elettrotecnica per quanto attiene alla trazione elettrica e della termodinamica per quanto attiene ai processi stazionari nelle turbomacchine.

## CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTROTECNICA 2003

Programmi delle materie di insegnamento

1351

**ANALISI MATEMATICA I** (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)

Docente: Luigi Pezzoli prof. inc. stab.

*Finalità del corso:* I corsi di analisi matematica I e II sono volti a colmare eventuali differenze nella preparazione matematica ricevuta dagli studenti nella scuola secondaria, ad abituare al ragionamento ipotetico-deduttivo e a fornire le nozioni e i metodi dell'Analisi matematica in modo da preparare lo studente a qualunque eventuale approfondimento teorico o applicativo.

*Programma*

Nozioni e notazioni fondamentali della teoria degli insiemi. Relazioni e funzioni. Relazioni d'ordine. Relazioni di equivalenza. Operazioni.

Strutture algebriche fondamentali: gruppidi, semigrupp, gruppi, anelli, corpi e campi. Procedimento di simmetrizzazione.

Sezioni del campo razionale. Numeri reali e operazioni su di essi. Coppie di classi contigue. Estremi di un insieme di numeri reali.

Spazi metrici. Spazio  $R^n$ . Nozioni di topologia negli spazi metrici e, in particolare, in  $R^n$ .

Numeri complessi. Risoluzione delle equazioni binomie in  $C$ .

Funzioni elementari e loro grafici.

Limiti di funzioni in  $R^n$  e, in particolare, in  $R$ . Successioni di numeri reali. Operazioni sui limiti. Forme indeterminate. Limiti notevoli.

Continuità. Uniforme continuità. Proprietà delle funzioni continue.

Derivate e differenziali per funzioni di una o più variabili.

Teoremi sulle funzioni derivabili di una variabile reale (Rolle, Lagrange, Cauchy, Darboux). Regole di De L'Hospital. Derivate e differenziali di ordine superiore. Formule di Taylor e sue applicazioni: ricerca degli estremanti di una funzione, Concavità, flessi, approssimazione di una funzione mediante un polinomio.

Teoremi sulle funzioni differenziabili di più variabili. Derivate e differenziali di ordine superiore. Formula di Taylor. Matrice hessiana. Massimi e minimi relativi. Funzioni implicite. Massimi e minimi condizionati. Metodo dei moltiplicatori di Lagrange.

Integrale di una funzione limitata in un intervallo limitato di  $R$ . Condizioni di integrabilità. Proprietà dell'integrale. Funzioni primitive di una funzione. Teore-

ma della media e corollari. Teorema fondamentale del calcolo integrale. Secondo teorema della media. Integrazione per parti e per sostituzione. Integrazione delle funzioni razionali e di alcuni tipi di funzioni irrazionali e trascendenti.

Integrali generalizzati.

Alle tre ore settimanali in cui si svolge il corso si aggiungono quattro ore settimanali di esercitazioni quale parte integrante del corso stesso, nonchè alcune (non meno di tre) ore settimanali per il ricevimento degli studenti desiderosi di chiarimenti e complementi.

L'esame consiste in una prova scritta e una orale.

*Testi consigliati:*

Dato il carattere istituzionale del corso, lo studente è libero di basare la propria preparazione su qualunque testo di analisi matematica a livello universitario. Tuttavia il Titolare ha redatto, per comodità e a richiesta degli studenti, un testo di appunti di *Analisi matematica* (ed. Pitagora - Bo), contenente un programma minimo necessario alla preparazione dell'esame. Si consigliano inoltre per le esercitazioni, i volumi:

V.E. BONONCINI-G. FANTI, *Esercitazioni di Analisi matematica*, vol. I (ed. Cedam - Padova).

V.E. BONONCINI, *Esercitazioni di Analisi matematica*, vol. II (ed. Cedam, Padova).

A. MALAVOLTA, *Esercizi di Analisi matematica*, Ed. Coop. Culturale T.P. Bologna.

1355

**ANALISI MATEMATICA II** (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)

Docente: **Garaldo Fanti** prof. inc. stab.

*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*

Serie numeriche. Serie di funzioni. Uniforme convergenza. Passaggio al limite sotto il segno di derivata e di integrale. Serie di potenze. Sviluppi in serie di Taylor. Funzioni elementari nel campo complesso. Integrali dipendenti da un parametro.

Equazioni differenziali lineari ordinarie di ordine  $n$ . Equazioni differenziali non lineari. Problema di Cauchy e metodo delle approssimazioni successive. Equazioni a coefficiente omogeneo, di Clairaut, di Bernoulli. Alcuni tipi di equazioni differenziali di ordine superiore al primo. Equazioni con punti singolari. Sistemi di equazioni differenziali ordinarie. Serie trigonometriche di Fourier.

Trasformazione di Fourier. Trasformazione di Laplace. Integrali di funzioni reali su intervalli di  $\mathbb{R}^n$ . Insiemi misurabili secondo Peano-Jordan. Integrali di funzioni reali su insiemi misurabili secondo Peano-Jordan. Cambiamento di variabili negli integrali multipli Curve e superficie. Curve rettificabili, teorema di Jordan. Integrali curvilinei.

Area di una superficie. Integrali superficiali. Formule di Gauss-Green e di Stokes.

Forme differenziali lineari e problemi fondamentali ad esse relativi. Funzioni analitiche di una variabile complessa. Trasformazioni conformi. Teorema e formula integrale di Cauchy. Sviluppo in serie di Taylor e di Laurent. Singolarità puntuali e residui. Applicazioni del teorema dei residui al calcolo di alcuni integrali.

2237

### APPLICAZIONI INDUSTRIALI DELL'ELETTROTECNICA

Docente: Mauro Loggini prof. inc. stab.

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 causate dai convertitori statici di potenza a SCR.

#### Programma

Richiamo su alcuni strumenti di misura di grandezze elettriche; misure di potenza attiva, reattiva,  $\cos \varphi$  con dispositivi a semiconduttore; misure di grandezze elettriche con elevato contenuto armonico.

Convertitori statici: convertitori c.a. - c.c. a semionda e ad onda intera; ponte monofase, trifase semicontrollato e totalcontrollato. Circuiti di sincronizzazione e di innesco. Considerazioni sul circuito equivalente relativo ai valori convertitori statici. Convertitori statici c.a. - c.c. con carico attivo.

Rifasamento automatico a tiristori. Trasduttori varmetrlici; 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.

**CALCOLO DELLE MACCHINE ELETTRICHE**Docente: **Antonino Grande** prof. inc. stab.

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 in 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**Docente: **Lodovico Ambrosini** prof. inc. stab.*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: **Nerio Negrini** prof. inc. stab.

Il corso si pone il fine di fornire elementi supplementari ed integrativi di altre discipline circa i problemi di funzionamento e di progettazione delle centrali elettriche, affrontando anche gli aspetti energetici connessi alla produzione dell'energia elettrica.

*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.

Non vengono effettuate esercitazioni che si ritiene invece opportuno introdurre, orientate ad un approfondimento di quanto riguarda il funzionamento automatico delle centrali.

Si ritiene altresì opportuno, nell'ambito delle esercitazioni, effettuare 1-2 visite tecniche ad impianti in esercizio.

1359

**CHIMICA** (per Elettrotecnici e Nucleari)

Docente: **Giovanni Milani**, prof. inc.

Il corso si propone di impartire le nozioni fondamentali sulla struttura atomica della materia, il legame chimico e la struttura dei solidi e sulla termodinamica e cinetica chimica, ad un livello che non implichi il possesso di un bagaglio matematico avanzato. In particolare il corso si propone di fornire i fondamenti necessari per il successivo corso di Chimica dei materiali elettrici.

### *Programma*

#### *Parte I: Struttura macroscopica e microscopica dei sistemi chimici.*

La struttura atomica della materia. Struttura del nucleo e radioattività: cenni sulla fissione e fusione nucleare. Struttura elettronica degli atomi. Distribuzione degli elettroni negli atomi e sistema periodico degli elementi. Legame chimico: a) legame ionico; b) legame covalente; c) legame metallico; d) legami deboli fra le molecole: forze di Van der Waals, legame a idrogeno.

#### *Parte II: I tre stati di aggregazione della materia.*

Stato gassoso. Stato liquido e soluzioni. Stato solido: struttura dei cristalli e reticoli cristallini; cristalli ionici: struttura del cloruro di sodio, del cloruro di ce-

sio, della fluorite, della blenda; cristalli covalenti; struttura del diamante, della grafite; cristalli molecolari; cristalli metallici: struttura cubica a facce centrate, a corpo centrato esagonale compatta. Cenni su difetti reticolari.

*Parte III: Reazioni chimiche e equilibrio chimico.*

Reazioni chimiche: calcoli stechiometrici. 1° Principio della termodinamica e termochimica. 2° Principio della termodinamica ed equilibrio chimico. 3° Principio della termodinamica e calcolo dell'entropia assoluta. Equilibri ionici in soluzione acquosa. Elettrochimica. Equilibri nei sistemi polifasici. Cinetica delle reazioni chimiche.

Il corso comprende anche esercizi e calcoli numerici applicativi.

*Testi consigliati:*

P. CHIORBOLI, *Fondamenti di chimica*, (UTET, Torino).

B.H. MAHAN, *Chimica generale ed inorganica*, (Ambrosiana, Milano).

5693

**CHIMICA FISICA DEI MATERIALI ELETTRICI**

Docente: **Franco Sandrolini** prof. straordinario (supplente)

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. Ceramiche: 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, involuppi. Processi di nucleazione ed accrescimento di nuove fasi. Trattamenti termici. Cenni ai processi di trasporto di materia nei solidi. Sinterizzazione.

Proprietà elettriche dei materiali: conduttori, semiconduttori, isolanti. Conduzione elettronica 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 di polarizzazione. Costante dielettrica complessa e processi di rilassamento dielettrico nei materiali. 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.

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  $90^\circ$  elettrici fra loro; le correnti negli avvolgimenti statorici, negli avvolgimenti rotorici con eventuale accesso da anelli, negli avvolgimenti rotorici con collettore a lame; la coppia all'albero.

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

Vengono poi studiati i funzionamenti di macchine elettriche speciali.

Indi il metodo viene applicato allo studio dei transistori elettrici ed elettromeccanici delle macchine elettriche principali, asincrone e soprattutto sincrone ad illustrarne il significato delle impedenze transitorie, visualizzando anche i risultati sullo stesso piano dei diagrammi polari.

Il corso ha carattere formativo fornendo procedimenti utili, oltre che ai risultati direttamente ottenuti, ad ulteriori studi svariati, in particolare di controlli automatici e di stabilità.

E' disponibile un testo scritto dal docente, formato da tavole di sintesi della materia.

4122

**COMPLEMENTI DI MISURE ELETTRICHE**Docente: **Mario Gasparini** prof. inc. stab.

Il corso si propone di ampliare le conoscenze fondamentali per un ingegnere elettrotecnico che, nel campo delle misure, vengono fornite nel corso di Misure Elettriche.

Nello svolgimento del corso, comunque, si tengono presenti i seguenti punti:

- l'aggiornamento continuo del programma sulla base delle nuove apparecchiature o tecniche di misura che hanno interesse per gli elettrotecnici;
- la necessità di fornire cognizioni di argomenti che integrino il corso fondamentale di Misure elettriche.

*Programma*

- a) Strumentazione elettronica: si illustrano strumenti ed apparati elettronici di misura, studiati non dal punto di vista della costruzione interna, ma da quello delle caratteristiche di impiego.
- b) Comportamento degli elementi di circuito in funzione della frequenza.
- c) Misure di impedenza non tradizionali.
- d) Elementi di metrologia primaria.
- e) Taratura dei TA e TV.

196

**CONTROLLI AUTOMATICI (per Elettrotecnici e Nucleari)**Docente: **Giovanni Marro** prof. ord.

Lo scopo del corso è l'introduzione allo studio di sistemi dinamici e la presentazione delle tecniche di progettazione dei sistemi di controllo in retroazione, in particolare quelle basate sull'analisi armonica. Il corso è completato con una descrizione dei principali componenti dei sistemi di controllo (trasduttori, amplificatori e attuatori) sia elettromeccanici sia fluidici.

*Programma*

Concetti fondamentali. Analisi di sistemi dinamici lineari. Stabilità. Risposta armonica e diagrammi di Bode. Criterio di Nyquist. Metodo del luogo delle radici. Sintesi delle reti correttrici. Sistemi non lineari. Componenti dei sistemi di controllo. Elementi di calcolo analogico.

*Testi consigliati:*

G. MARRO, *Controlli automatici*, Zanichelli.

C. BONIVENTO, *Controlli automatici*, vol. II (Componenti e applicazioni) Pitagora Ed.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica I e II, Macchine elettriche.

Gli esami consistono in una prova scritta e una prova orale. Il superamento della prova scritta è obbligatorio per l'accesso alla prova orale.

1384

**COSTRUZIONI DI MACCHINE**

Docente: **Pier Gabriele Molari** prof. straord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare).

205

**COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE**

Docente: **Giulio Piazzi** prof. inc. stab.

Il corso mira a fornire agli studenti, in particolare a quelli orientati verso il settore della costruzione o dell'impiego delle macchine elettriche rotanti, una serie di informazioni e nozioni supplementari a quelle già svolte in altri corsi precedenti o paralleli.

In particolare si pongono in evidenza esigenze e problemi derivanti dalla costruzione e dall'esercizio delle macchine stesse, indicando concetti di progettazione e tecnologici adottati per risolverli.

*Programma*

1) Dati ed elementi di base per il progetto delle macchine elettriche rotanti. Definizioni di base. Forme costruttive e tipi di protezione; condizioni meccaniche ed elettriche varie. Vibrazioni ed equilibratura dei rotori. Rumore delle macchine elettriche. Perdite e raffreddamento. Condizioni tipo di servizio.

2) Costituzione meccanica delle macchine rotanti. Motori asincroni. Macchine sincrone a poli salienti (in particolare di grande potenza). Macchine sincrone a induttore liscio. Macchine a corrente continua.

3) Principali elementi costitutivi delle macchine elettriche rotanti. Pacco lamiere. Avvolgimenti statorici per macchine a corrente alternata. Avvolgimenti rotorici per motori asincroni a gabbia e ad anelli. Avvolgimenti di eccitazione per macchine sincrone o a corrente continua. Tecniche e problemi particolari dell'isolamento per grandi macchine a corrente alternata ad alta tensione.

*Testi consigliati:*

E. WIEDEMANN, W. KELLENBERGER, *Konstruktion elektrischer Maschinen*.

G. RAGO, *Costruzioni elettromeccaniche e disegno.*

G. REBORA, *La costruzione delle macchine elettriche.*

G. CANNISTRA', *Elementi di costruzioni elettromeccaniche.*

5690

**COSTRUZIONI PER L'INDUSTRIA**

Docente: **Claudio Comani** prof. inc.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Edile).

1364

**DISEGNO (per Elettrotecnici e Nucleari)**

Docente: **Roberto Bettocchi** prof. inc. stab.

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 cavalliera e norme UNI. Assonometria: isometrica, dimetrica e norme UNI. Vera forma di superficie 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 semisezioni. Sezioni parziali. Quotatura: necessità e criteri generali. Quotate in serie, in parallelo, miste. Calibro a corsoio. Trapano, Tornio e loro modo di impiego. Quotate 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. Frestratrice 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'esplorazione grafica degli argomenti trattati.

251

**ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE****(per Elettrotecnici ed Elettronici)**Docente: **Dino Zanobetti** prof. ord. (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 di Ingegneria come problemi di scelta economica.

I problemi della matematica finanziaria: problemi di capitalizzazione ed attualizzazione; problemi relativi ad annualità certe, differite e variabili.

Problemi di scelta economica che si proiettano oltre il presente: criterio di equivalenza finanziaria, metodi di confronto (valore attuale, valore annuale, tasso di interesse sull'investimento differenziale). Fattori della produzione ed elementi del costo di produzione.

Depimento, ammortamento e rinnovo degli impianti.

Finanziamento e retribuzione del capitale delle imprese. Società per azioni, il Credito a lungo, medio e breve termine.

Imposte: regolamentazione tributaria italiana, imposte dirette e indirette, la I.V.A.

Mano d'opera e materiali: regolamentazione e costo del lavoro, costo della vita e scala mobile, mercati e prezzi dei materiali, la revisione dei prezzi, potere d'acquisto della moneta.

I trasporti: contratti di trasporto, assicurazione dei trasporti, i termini di resa nei contratti mercantili.

*Testi consigliati:*D. ZANOBETTI, *Economia dell'ingegneria*, Patron.

D. ZANOBETTI, *Economia dell'ingegneria* (Esercizi e aggiunte), Patron.

Gli esami si compongono di una prova scritta, concernente la valutazione economica di una scelta, e di una prova orale.

270

### ELETTRONICA APPLICATA

Docente: Vito Antonio Monaco prof. ord.

#### *Finalità del corso.*

A livello istituzionale vengono trattate e 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: **Francesco Barozzi** prof. ord.

L'insegnamento di Elettrotecnica I ha essenzialmente lo scopo di fornire agli allievi, sulla base di quanto essi hanno appreso dall'insegnamento di Fisica II, un quadro inizialmente sintetico delle leggi fondamentali dell'elettromagnetismo, seguito da un successivo approfondimento di alcune sue parti. In particolare si esaminano concetti e metodi basilari per la soluzione di problemi di regime stazionario in campi elettrici e magnetici particolarmente interessanti l'Elettrotecnica.

Allo studio dei circuiti elettrici a regime, ed in particolare nel regime alternativo sinusoidale, è dedicata la parte finale del corso.

*Programma*

*Richiami di nozioni, concetti e leggi fondamentali:* Nozioni e principi generali. I vettori del campo elettromagnetico. Le leggi generali dell'elettromagnetismo, le equazioni di Maxwell, l'energia del campo elettromagnetico. I potenziali elettromagnetici.

*Il campo elettrico ed il campo magnetico in regime stazionario.* Il campo elettrico nei conduttori e la corrente elettrica in regime stazionario. Passaggio della corrente elettrica nei metalli, negli elettroliti e nei semiconduttori.

Il campo elettrostatico. Alcuni problemi relativi al campo elettrostatico. Coefficienti di capacità. Materiali dielettrici e loro proprietà. Condensatori. Il campo magnetico prodotto da correnti stazionarie. Alcuni problemi relativi al campo magnetico stazionario. Coefficienti di auto e di mutua induzione. Le proprietà magnetiche dei corpi materiali. Circuiti magnetici. Metodi approssimati per lo studio dei campi. Azioni ponderomotrici nel campo elettrostatico e nel campo magnetico.

*Regime quasi stazionario.*

*Circuiti e reti elettriche in regime alternativo sinusoidale.* Grandezze periodiche. Rappresentazione delle grandezze sinusoidali mediante numeri complessi e vettori del piano. Espressioni delle leggi di Kirchoff in forma simbolica. Traduzione delle espressioni simboliche in diagrammi vettoriali. Alcuni teoremi relativi alle reti lineari in regime sinusoidale di correnti. Potenza elettrica in regime sinusoidale. Potenza attiva e potenza reattiva. Potenza complessa. Teoremi relativi alle potenze. Misura delle potenze. Circuiti semplici mutuamente accoppiati. Fenomeni di risonanza. Correnti periodiche non sinusoidali.

*Sistemi polifasi.* Sistemi polifasi simmetrici. Sistemi trifasi simmetrici ed equilibrati. Potenze attive e reattive. Misura delle potenze. Sistemi trifasi dissimetrici o squilibrati. Componenti simmetriche. Potenze attive e reattive. Potenza fluttuante. Misura della potenza nei sistemi non simmetrici. Generazione di un campo magnetico rotante.

Vengono forniti appunti tratti dalle lezioni. Il corso è integrato da esercitazioni teoriche e numeriche.

**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 generatori 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:* a) 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.

*Circuiti 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.

*Sensibilità di una rete elettrica alle variazioni dei componenti:* definizione di sensibilità, teorema di Cohn, determinazione della sensibilità di una rete mediante il teorema delle potenze virtuali; metodo statistico.

*Studio dei campi magnetici nei traferri anulari:* teoria generalizzata dei campi magnetici rotanti, generalizzazione del concetto di mutua induzione per circuiti rotanti, teorema di equivalenza fra circuiti in moto e circuiti statici, equazioni circuitali dei sistemi elettromagnetici rotanti (a traferro costante) in regime lineare.

*Testi consigliati*

BASILE: *Elettrotecnica*, IV volume, Patron, Bologna.

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

CIAMPOLINI: *Fondamenti di elettrotecnica*, UTET, Torino.

MARTINELLI e SALERNO: *Fondamenti di Elettrotecnica*, Vol. I e II, Edizioni scientifiche Siderea, Roma.

Il corso viene integrato da *esercitazioni* sugli argomenti trattati.

L'*esame* consiste in un colloquio riguardante anche gli argomenti trattati nelle esercitazioni.

5695

### **ESERCIZIO DELLE RETI ELETTRICHE DI ENERGIA**

Docente: **Giovanni Malaman** prof. inc. stab.

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.

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).

1368

### **FISICA I (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)**

Docente: **Ettore Verondini** prof. straord.

Il corso può dividersi, grosso modo, in tre parti: a) Calcolo vettoriale e cinematica, 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.

1373

## **FISICA II (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)**

Docente: **Franco Saporetti** prof. inc. stab.

### *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

Interazioni elettriche – Campo e potenziale elettrici – Materia e polarizzazione – Conduzione elettrica – Interazioni magnetiche – Campo magnetico e sue proprietà – Magnetizzazione della materia – Campo elettromagnetico dipendente dal tempo – Equazioni di Maxwell – Onde elettromagnetiche – Propagazione e interazione con la materia – Riflessione – Rifrazione – Polarizzazione – Interferenza – Diffrazione.

Il Corso comprende esercizi e calcoli numerici applicativi.

### Testi consigliati:

- M. ALONSO, E.J. FINN, *Elementi di fisica per l'Università* (vol. 2), (Ed. Addison-Wesley).  
 D. HALLIDAY, R. RESNICK, *Fisica*, (vol. 2, Elettromagnetismo – Ottica), (Ed. Ambrosiana).  
 E.M. PURCELL, *La fisica di Berkeley* (vol. 2, Eletticità e Magnetismo), (Ed. Zanichelli) (solo per la prima parte del programma).

Propedeuticità consigliate: Fisica I, Analisi matematica I-II.

6797

**FISICA TECNICA** (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)

Docente: **Iginio Di Federico** prof. straordinario (inc.)

Obiettivo del corso è di fornire le conoscenze propedeutiche necessarie alla analisi e allo sviluppo ulteriore, nei corsi successivi, della termodinamica dei sistemi chiusi e aperti e dei fenomeni di scambio termico correlati, questi ultimi, degli indispensabili argomenti fluidodinamici.

Il corso può essere schematicamente suddiviso in tre parti:

- a) Termodinamica dei sistemi aperti e chiusi. I e II principio – Sistemi termodinamici chimicamente omogenei e non – Sistemi omogenei ed eterogenei fisicamente.
- b) Fluidodinamica.  
Equazione di continuità ed equazioni del moto laminare e turbolento – Analisi dei circuiti di trasporto dei fluidi.
- c) Trasmissione del calore.  
I e II equazione di Fourier – Fenomeni di scambio termico in presenza di ef-

fetti generativi di calore — Analisi di casi particolari di conduzione e convezione.

*Testi di riferimento:*

A. COCCHI, *Termofisica*, ed. Patron, Bologna.

ZEMANSKY, *Calore e termodinamica*, Zanichelli, Bologna.

1376

**GEOMETRIA** (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)

Docente: **Luigi Cavalieri D'Oro** prof. ord.

*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*

Cenni di logica matematica e di teoria degli insiemi — 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. Petroni - Bologna).

6800

**IDRAULICA** (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)

Docente: **Gianni Luigi Bragadin** prof. straord.

*Programma*

Unità di misura, omogeneità, teorema  $\pi$ . Costanti meccaniche dei liquidi. Equazione di continuità. Equazione del moto dei mezzi continui. Idrostatica: misu-

re di pressione sui liquidi, azione dei liquidi sopra superfici in quiete, corpi galleggianti. Spinte di getti su superfici. Equazioni del moto dei liquidi perfetti. Il teorema di Bernoulli. Estensione a una corrente finita del teorema di Bernoulli. Foronomia: Brusco allargamento di sezione nelle condotte. L'esperienza di Reynolds: moto laminare e moto turbolento. Moto uniforme nelle condotte. Moto permanente. Sifoni. Impianto premente. Rete di condotte. Moto permanente gradualmente variato. Moto uniforme nelle correnti a pelo libero e permanente. Il risalto idraulico. Organizzazione del territorio per la produzione di energia idroelettrica: orografia, precipitazioni, deflussi, dighe e sbarramenti, centrali. Studio dei vari tipi di impianti nel funzionamento a regime. Impianti di accumulazione energia. Cenni su pompe e turbine (numero di giri caratteristico ecc.). Studio dei transitori negli impianti. Moto vario nelle condotte in pressione: fenomeni di colpo d'ariete. Equazioni di Allievi. Formula di Allievi. Formula di Allievi-Michaud. Il metodo grafico per l'esame del colpo d'ariete. Colpo d'ariete negli impianti prementi. Cassa d'aria e pozzo piezometrico. Moti di filtrazione. Equazioni di Navier. Similitudine meccanica.

Il corso comprende esercitazioni (di laboratorio e in aula).

5843

**IMPIANTI ELETTRICI**Docente: **Mario Pezzi** prof. inc. stab.

Il corso si propone di dare le basi necessarie per affrontare alcuni dei problemi più importanti connessi con la distribuzione sia pubblica che industriale, ma tratta anche argomenti di carattere generale riguardanti il trasporto e la utilizzazione dell'energia elettrica.

*Programma**Distribuzione*

Distribuzione primaria e secondaria — Reti di distribuzione di tipo radiale, ad anello, a maglia, in banking — Distribuzione dei complessi industriali e per usi civili. Cabine.

*Linee elettriche*

Linee aeree e in cavo — Costanti primarie — Equazioni della propagazione — Costante di propagazione — Impedenza caratteristica — Le linee come quadripoli — Costanti ausiliarie — Studio delle linee lunghe — Diagramma di Baum e Perrine — Diagrammi circolari — Studio delle linee corte — Espressioni di calcolo per la sezione dei conduttori — Transitorio termico — Esempi di calcolo di linee.

*Reti elettriche*

Grandezze in valore relativo — Analisi nodale — Il problema di "load flow" — Vari metodi di calcolo dei flussi di potenza.

*Manovra e protezione*

Teoria dell'arco elettrico — Interruzione in c.c. e in c.a.; Interruttori — Sezion-

tori — 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 — Dispensori — 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.

4134

**IMPIANTI IDROELETTRICI E DI RIVALUTAZIONE DELL'ENERGIA**

Docente: **Paolo Lamberti** prof. inc. stab.

Il corso si propone di illustrare i principali tipi di impianti idroelettrici attualmente in uso, le loro caratteristiche tecniche e funzionali, i criteri per il loro impiego nella produzione di energia elettrica.

*Programma*

- Estesi cenni sugli studi idrologici.
- Rassegna dei tipi di sbarramenti fluviali e delle opere di presa; Opere di adduzione e studio del loro comportamento idraulico; Caratteri delle macchine idrauliche, apparecchiature di corredo e controllo idraulico, regolazione delle turbine, cenni alle questioni di stabilità.
- Caratteristiche funzionali degli impianti di produzione idroelettrica; interconnessione delle reti, diagrammi di carico e ripartizione di esso.
- Impianti di rivalutazione dell'energia mediante pompaggio; impianti con gruppi ternari, macchine reversibili; caratteristiche funzionali e problemi di gestione.
- Brevi cenni ad altri tipi di impianti di rivalutazione e confronti.

Il corso comprenderà discussioni seminariali e, se possibile, visite ad impianti e centri operativi dell'ENEL.

Propedeuticità consigliate: Idraulica.

*Testo consigliato:*

G. EVANGELISTI, *Impianti idroelettrici*, Patron, Bo, completato con appunti di lezione.

663

**MACCHINE (per Elettrotecnici, Chimici, Minerari)**

Docente: Sergio Fabbri prof. ord. (inc.)

Il corso ha per fine lo studio delle macchine a fluido e dei relativi impianti, studio che si avvale dei metodi di meccanica, termodinamica e fluidodinamica, e tiene anche conto delle esigenze economiche e tecnologiche per giungere a concretare una determinata struttura della macchina od una combinazione delle varie macchine, in corrispondenza di una precisa evoluzione fisica del fluido.

**Programma**

Il corso intraprende lo studio delle macchine termiche (a fluido comprimibile) muovendo necessariamente dai richiami di *termodinamica tecnica*. Importantissima la equazione energetica del moto dei fluidi, che permette la valutazione per via esterna del lavoro specifico ottenuto dalle macchine motrici o speso nelle macchine operatrici e del calore scambiato tra i fluidi negli scambiatori di calore.

Occorre naturalmente tenere in conto il comportamento reale del fluido e le influenze delle perdite interne sulla trasformazione (considerando il rendimento rispetto alla isentropica delle fasi di aspirazione e di compressione) ed il comportamento reale della macchina e le conseguenze delle perdite meccaniche (considerando il rendimento meccanico). Importantissime le funzioni di stato, le rappresentazioni delle trasformazioni e dei cicli sui vari diagrammi, i richiami sulle proprietà dei diversi fluidi, sui combustibili e sulla combustione.

Con queste basi e con il modello costante del ciclo di Carnot che ci spinge a introdurre calore nel fluido alla temperatura più alta possibile ed a toglierla alla temperatura più bassa, si possono esaminare e studiare i principali *impianti termici*, senza entrare nei particolari delle singole macchine, stabilendo una corrispondenza biunivoca tra lo schema dell'impianto e la rappresentazione delle trasformazioni del fluido sui diagrammi di stato, ricavando le relazioni fondamentali tra la potenza meccanica in gioco, le portate dei fluidi, il consumo di combustibile e il rendimento globale (per gli impianti motori) la potenzialità frigorifera e l'effetto utile globale (per gli impianti frigoriferi).

Vengono così studiati gli impianti di turbina a gas (senza e con recupero di calore, con espansione e compressione semplici e multiple) gli impianti a vapore del tipo industriale e di potenza (semplice, a condensazione, a contropressione, a spillamenti di vapore, con surriscaldamenti intermedi); gli impianti a vapore a due fluidi e nucleari; gli impianti frigoriferi a compressione (semplice e a due stadi) e ad assorbimento (ad ammoniaca ed a bromuro di litio) il cui studio va completato con l'esame delle proprietà dei fluidi frigoriferi; gli impianti per il raggiungimento delle bassissime temperature e per la liquefazione dei gas.

Considerando poi le singole macchine vengono inizialmente studiati gli *scambiatori di calore* (che ancora si riallacciano immediatamente alle conoscenze dei corsi precedenti), a miscela, rigenerativi, a superficie, considerandone schema, funzionamento, dimensionamento per poi passare ai vari tipi di generatori di vapore e agli

argomenti relativi (camere di combustione, economizzatori, vaporizzatori, surriscaldatori, preriscaldatori di aria, alimentazione e regolazione) ai condensatori a miscela ed a superficie (con funzioni anche di degasatori e di scambiatori di alimento).

Segue lo studio delle *macchine termiche rotanti* alla cui base è il comportamento del fluido nei condotti fissi (ugelli di espansione) e mobili (equazione energetica del moto dei fluidi nei condotti mobili, rappresentazione vettoriale delle velocità) per giungere alla valutazione del lavoro specifico per via interna (equazione di Eulero) delle perdite e dei rendimenti. Vengono esaminate nelle loro caratteristiche costruttive e di funzionamento, le turbine per gli impianti a contropressione e di potenza (a vapore e a gas del tipo ad azione, a reazione, semplici, multiple, miste, assiali e radiali) con le particolarità di impianto e della regolazione; i compressori centrifughi ed assiali per impianti di turbine a gas e impianti frigoriferi.

Il corso esamina poi le *macchine termiche alternative* delle quali essenziale è il diagramma di indicatore per l'esame del funzionamento, per la valutazione del lavoro per via interna e per il dimensionamento della macchina, basato sulla velocità media del pistone. Vengono considerati, nelle particolarità costruttive, di funzionamento, di impianto e nel dimensionamento, i compressori alternativi (semplici e a compressione multipla con raffreddamento intermedio) i motori a combustione interna (a carburazione e a iniezione diretta a due e a quattro tempi) la sovralimentazione dei motori, i cicli misti di motori alternativi e turbine a gas e i motori a capsulismo con rotore planetario.

Infine il corso comprende lo studio delle *macchine idrauliche*. Passando all'esame dei liquidi incomprimibili l'equazione energetica assume forme più semplici per dare un utile legame tra pressione e velocità del liquido nei condotti distributori, nei condotti mobili e nei diffusori. Rimane l'equazione di Eulero per la valutazione del lavoro idraulico che si collega al carico od alla prevalenza attraverso le perdite idrauliche interne ed al lavoro meccanico a mezzo delle perdite meccaniche della macchina.

Vengono esaminati nella struttura, nel funzionamento e con riferimento al dimensionamento di massima le turbine Pelton, Francis, ad elica e Kaplan (con le loro caratteristiche, i campi di impiego, la regolazione e le particolarità di impianto) classificandole attraverso l'indice caratteristico.

Vengono inoltre studiate le pompe alternative, a capsulismi, centrifughe (semplici e multiple) ed assiali con le loro curve caratteristiche, le particolarità di funzionamento e di impianto.

#### *Testi consigliati:*

Appunti di meccanica applicata alle macchine e macchine (Patron, Bologna);  
Complementi di meccanica applicata alle macchine e macchine (Patron, Bologna).

*Propedeuticità consigliate:* Fisica tecnica, Meccanica applicata alle macchine.

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, CHARLES KINGSLEY, jr., *Electric Machinery*, Mc Graw-Hill 1952.

PHILIP L. ALGER, *The nature of polyphase induction machines*, John Wiley - New York - Chapman & Hall - London, 1951.

KOSTENKO M., PIOTROVSKY L., *Electrical Machines*, Moscov, Mir, 1968.

LIWSCHITZ M., *Le macchine elettriche*, Parte prima, Milano, Hoepli 1963.

5696

**MATERIALI SPECIALI PER L'ELETTROTECNICA**Docente: **Ermanno Goracci** prof. inc. stab.

Il corso ha scopi di carattere generali quali quelli di stimolare gli studenti a prestare molto maggiore attenzione alle particolarità, alle anomalie e ai difetti,

perchè, 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 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.

1385

### **MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE**

(per Elettrotecnici, Chimici, Minerari)

Docente: Vincenzo Parenti Castelli prof. inc.

#### *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 lubrificate. L'analisi viene quindi estesa ai principali meccanismi impiegati nella tecnica: qua-

drilatero 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.

Alcuni degli argomenti del corso vengono svolti con riferimento ai problemi costruttivi degli organi delle macchine.

*Testo consigliato:*

FUNAIOLI E., *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 relativa ad un esercizio.

1380

**MECCANICA RAZIONALE** (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)

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

*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*, Patron Bologna.

C. AGOSTINELLI, G. PIGNEDOLI, *Meccanica razionale*, Zanichelli, Bologna.

2004

**METODI DI OSSERVAZIONE E MISURA**

Docente: **Maurizio Zoboli** prof. inc.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica).

732

**MISURE ELETTRICHE**Docente: **Alberto Burchiani**, prof. inc. stab.

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 cc e ca;
- misure di potenza e di energia in cc, ca 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:*

MÒDONI-DORE, *Misure elettriche*, (Patron) e dispense integrative su argomenti specifici.

5697

**MISURE E REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTI ELETTRICI**Docente: **Domenico Mirri** prof. inc. stab.

Il corso si propone di illustrare i dispositivi ed i circuiti elettronici utilizzati nella strumentazione elettronica e nel comando o nel controllo dei convertitori e dei regolatori statici.

*Programma*

Richiami di fisica dei semiconduttori. Diodi a semiconduttore e transistori bipolari in regime impulsivo.

Amplificatori in c.c. - Voltmetri elettronici in c.c.

Circuiti a retroazione. Circuiti con Amplificatori Operazionali.

Circuiti analogici a retroazione: amplificatori, sommatore, integratori, derivatori, amplificatori, divisori, estrattori di radice quadrata, circuiti limitatori.

Convertitori AC-DC utilizzati negli strumenti di misura.

Circuiti di commutazione a retroazione: comparatore con isteresi, multivibratori bistabile, monostabile ed estabile.

Oscillografo: principio di funzionamento.

Circuiti logici sequenziali: flip-flop sincroni ed asincroni; registri; contatori; memorie a semiconduttore.

Frequenzimetro numerico. Registratore di transienti. Oscillografo a memoria digitale.

Bipoli a resistenza negativa: diodo a quattro strati; SCR (caratteristiche statiche e dinamiche); Triac, UJT; PVT; SUS; DIAC.

Convertitore digitali-analogici e analogici-digitali.

Strumenti numerici in corrente continua.

Strumentazione automatica con microprocessore.

6801

**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI** (per Meccanici, Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)

Docente: **Angelo Di Tommaso** prof. ord.

*Finalità del corso*

Il Corso si propone di fornire all'allievo i concetti base della Meccanica dei Solidi e la metodologia per la verifica strutturale delle Costruzioni. Il Corso costituisce una premessa allo studio della Progettazione delle Costruzioni Civili, Industriali e Meccaniche.

*Programma*

A) Meccanica dei solidi (Analisi della deformazione – Analisi della tensione – Il principio dei lavori virtuali – Stato elastico dei solidi – Criteri di snervamento o frattura – Le verifiche di resistenza nel punto);

B) Le strutture (Calcolo delle travi e dei sistemi di travi – Le azioni esterne – La stabilità dell'equilibrio dei sistemi di travi);

C) Principi di Statica delle Strutture in cemento armato; (obbligatorio solo per i

Meccanici);

D) Sperimentazione sul comportamento meccanico dei materiali (facoltativo).

Gli *esami* consistono in una prova scritta ed un successivo colloquio. Gli argomenti di esame sono a disposizione presso l'Istituto di Scienza delle Costruzioni.

*Testi consigliati:*

- 1) BOSCOTRECASE-DI TOMMASO, *Statica applicata alle Costruzioni*, Pátron, Bologna.
- 2) DI TOMMASO, *Fondamenti di Scienza delle Costruzioni*, Pátron, Bologna.
- 3) VIOLA, *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni*, Pitagora, Bologna.
- 4) CARPINTERI, *Geometria delle masse*, Pitagora, Bologna.
- 5) CAPURSO, *La statica del cemento armato*, Pitagora, Bologna.

4153

#### **TECNICA DELLE ALTE TENSIONI**

Docente: **Gianni Pattini** prof. inc. stab.

Il corso si propone anzitutto di approfondire la conoscenza delle tecniche e degli apparati specifici utilizzati nel campo delle alte e altissime tensioni ponendo l'accento sulle modificazioni che la tecnologia elettrica subisce quanto le tensioni assumono valori elevatissimi.

Oltre al necessario carattere informativo il corso ha anche un aspetto formativo in quanto cerca di fornire le metodologie generali per affrontare problemi particolari quali ad esempio il coordinamento dell'isolamento e la distribuzione del campo elettrico.

Il corso si collega a monte con quello di Tecnologie elettriche, che fornisce gli elementi fondamentali sui materiali isolanti, di Impianti elettrici, che descrive il funzionamento degli impianti e la loro costituzione, nonché di Misure elettriche.

In sintesi il programma del corso è il seguente:

- Impianti di prova ad alta tensione: generatori, apparecchiature e metodi di prova e misura;
- Calcolo dei campi elettrici con metodi numerici;
- La scarica nell'aria a pressione atmosferica, particolarmente per lunghe distanze; cenni sulla scarica del fulmine;
- Componenti e tecnologie dei sistemi ad alta tensione (in particolare interruttori, trasformatori di misura, scaricatori, passanti);
- Coordinamento dell'isolamento;
- Effetti dei campi elettrici sul corpo umano.

Vengono forniti appunti preparati dal docente, contenenti anche indicazioni bibliografiche per l'approfondimento della materia.

2011

**TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE**Docente: **Giannino Praitoni** prof. inc. stab.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Trasporti).

1031

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

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Trasporti).

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-fisica 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 il corso di Tecnica delle Alte Tensioni, che per molte parti rappresenta 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 interfacciale.

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.

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 della macchine elettriche. Magneti permanenti: proprietà generali e materiali usati. Criteri di progetto.

Le *dispense* del corso, in 5 parti, sono edite dalla Cooperativa Libreria Universitaria. Per le parti del corso in evoluzione vengono forniti articoli ed appunti.

2049

**TECNOLOGIE GENERALI**

Docente: **Gustavo Favretti** prof. ord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare)

1068

**TRAZIONE ELETTRICA**

Docente: **Enrico Masi** prof. inc.

**Finalità del corso**

Il corso si propone di fornire notizie sui problemi inerenti alla trazione, principalmente elettrica ed essenzialmente quella ferroviaria, per quanto riguarda im-

pianti 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*

- 1) *Generalità* - Sviluppo della trazione elettrica e termica. Sistemi di trazione attualmente impiegati per impianti ferroviari e per le metropolitane. Valutazione tecnico-economica della trazione elettrica e termica e confronto fra i vari sistemi di trazione.
- 2) *Impianti fissi* - Alimentazione in corrente continua: caduta di tensione, sottostazioni di conversione a raddrizzatori a vapori di mercurio e a semiconduttori. Alimentazione in corrente alternata: cadute di tensione, sottostazioni di conversione e di alimentazione. 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: protezioni e telecomandi.
- 3) *Meccanica della locomozione* - Aderenza e resistenza al moto. Caratteristica meccanica di un mezzo di trazione. Parte meccanica di un mezzo di trazione, schemi di rodaggio, forze applicate sugli assi, variazioni del carico, trasmissione del movimento alle ruote. Dinamica di marcia: problemi e soluzioni in particolare per le alte velocità.
- 4) *Motori di trazione* - Motori a corrente continua. Costituzione e curve caratteristiche di giri e di potenza. Caratteristica meccanica. Motori a corrente alternata a collettore. Diagramma di funzionamento e commutazione. Motori a corrente ondulata. Motore a corrente alternata trifase con regolazione di frequenza e di tensione. Frenatura elettrica con i vari tipi di motori (reostatica o a recupero). Indicazioni sui principali tipi di motori di servizio. Cenni sul motore lineare.
- 5) *Mezzi di trazione in corrente continua* - Macchine con apparecchiature tradizionali; circuiti ed apparecchiature di trazione ed ausiliarie: pantografi, interruttore extrarapido, reostato, combinatori, motori ausiliari ecc. Macchine con apparecchiature di nuova concezione (elettroniche). Principio di funzionamento di chopper, inverter, e converter. Disturbi provocati dagli azionamenti a tiristori: rimedi e protezioni.
- 6) *Mezzi di trazione a corrente alternata monofase* - Macchine con apparecchiature tradizionali. Trasformatori e graduatori. Macchine con raddrizzatori e tiristori. Problemi provocati dai disturbi.
- 7) *Trazione termica* - Trazione a vapore e diesel. Cenni sulla turbina.
- 8) *Sistemi di trasmissione nella trazione diesel* - Meccanico, idraulico, elettrico. Giunto idraulico e convertitore di coppia.
- 9) *Trasmissione diesel-elettrica* - Tipi di alimentazione a c.c., o a c.a. Problemi di regolazione.
- 10) *Mezzi di trazione diesel* - Locomotiva di trazione e di manovra.

11) Evoluzione degli equipaggiamenti di trazione.

*Testi consigliati*

- F. PERTICAROLI, *Trazione elettrica*, Ed. Universitarie Bignami, 1973.  
M. TESSIER, *Traction électrique et thermo-électrique*, Ed. Riber, 1978.  
Dispense del corso di "Trazione e propulsione".

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA 2004***Programmi delle materie di insegnamento*

Per le seguenti materie del biennio propedeutico:

- 1351 Analisi matematica I
- 1355 Analisi matematica II
- 1368 Fisica I
- 1373 Fisica II
- 1376 Geometria
- 1380 Meccanica razionale

e per le seguenti materie del triennio di applicazione

- 6797 Fisica tecnica
- 663 Macchine
- 1385 Meccanica applicata alle macchine
- 6801 Scienza delle costruzioni

v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica.

5801

**ANALISI DEI SISTEMI DELL'INGEGNERIA CHIMICA**

Docente: **Gigliola Spadoni** prof. inc.

*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 "cut-sets". 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. SIROLA, *Process synthesis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.Y., 1973.  
 G. APOSTOLAKIS, S. GARRIBA, G. VOLTA, (Editors), *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, Meccanici e Minerari)

Docente: **Antonio Natali** prof. inc.

#### *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. Soluzione 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.

**Testi consigliati.**

Sono disponibili appunti e dispense informali approvate dal docente.

1360

**CHIMICA**

Docente: **Piero Manaresi** prof. ord.

**Programma**

*Parte I:* Struttura macroscopica e microscopica dei sistemi chimici.

*La struttura atomica:* Le particelle costitutive dell'atomo — Grandezza e massa degli atomi. Gli isotopi — peso atomico. Scale dei pesi atomici.

*Struttura del nucleo:* Numero di massa e numero atomico — Difetto di massa — Stabilità ed instabilità nucleare — Radioattività  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  — Velocità di disintegrazione — Cenni sui processi di fissione e fusione.

*Struttura elettronica degli atomi:* Modello atomico di Bohr — Principio di indeterminazione — Natura dualistica dell'elettrone — La funzione d'onda ed il suo significato — Numeri quantici e 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:* a) Il legame ionico; proprietà dei composti ionici. b) Il legame

covalente; orbitali molecolari. Legame polarizzato — Orbitali e geometria molecolare. Orbitali ibridi — Legami multipli — Legame di coordinazione. c) Legame metallico. d) Legami deboli tra le molecole (ad idrogeno, di Van der Waals).

*Parte II:* I tre stati di aggregazione della materia.

*Lo stato gassoso:* Equazione di stato dei gas perfetti ed equazione di Van der Waals per i gas reali.

*Lo stato liquido e le soluzioni:* Proprietà fisiche dei liquidi; tensione di vapore. Soluzione gassose, liquide, solide. Composizione delle soluzioni. Soluzioni ideali e non ideali.

*Lo stato solido:* Solidi amorfi e solidi cristallini — Tipi diversi di strutture cristalline: cristalli ionici, covalenti molecolari, atomici e metallici.

*Equilibri nei sistemi polifasici:* Regola delle fasi. Sistemi ad un componente: equazione di Clausius-Clapeyron e diagrammi di stato.

*Parte III:* Reazioni Chimiche ed equilibrio chimico.

*Stechiometria:* Richiamo alle leggi delle combinazioni. Formule chimiche — Calcoli stechiometrici — Le reazioni di ossidoriduzione.

*I Principio della termodinamica e termochimica:* Sistemi, funzioni di stato, lavoro, calore — I principio; energia interna e entalpia — Entalpia standard di formazione — Legge di Hess.

*II Principio della termodinamica ed equilibrio chimico:* Processi reversibili e irreversibili - II principio; entropia e suo significato probabilistico — Energia libera e spontaneità di una reazione — Energia libera standard di formazione — Sistemion ideali; attività (cenni). Variazione di energia libera in una reazione e costante di equilibrio. Influenza della temperatura — Spostamento dell'equilibrio per variazioni di concentrazione o di pressione — Equilibri eterogenei.

*Equilibri ionici in soluzione acquosa:* Autoionizzazione dell'acqua, pH, Acidi, basi e sali — Idrolisi dei sali — Prodotto di solubilità — Elettroliti anfoteri. Soluzione tampone. Indicatori. Impostazione esatta degli equilibri di ionizzazione.

*Elettrochimica:* Proprietà dell'acqua come solvente — Conducibilità elettrica delle soluzioni: elettroliti deboli e forti. Celle chimiche reversibili. L'equazione di Nernst — Serie dei potenziali Standard — Elettrolisi dei sali fusi e in soluzione acquosa — Leggi di Faraday — Corrosione elettrochimica (cenni).

*Cinetica delle reazioni chimiche* — Velocità di reazione; l'equazione cinetica. Ordine e molecolarità, reazioni elementari e reazioni in più stadi. Influenza della temperatura: teoria delle collisioni, il complesso attivato. Catalisi omogenea ed eterogenea.

*Parte IV:* Gli elementi chimici.

Caratteristiche generali delle famiglie di elementi tipici. Metalli alcalini e alcalinoterrisi. Elementi del terzo, quarto, quinto e sesto gruppo. Alogeni — Elementi di transizione: Mn, Fe e Cu quali esempi.

*Testi consigliati*

P. CHIORBOLI, *Fondamenti di chimica*, ed. UTET, Torino.

B.H. MAHAN, *Chimica generale e inorganica*, Ed. Ambrosiana, Milano.

BRESCHI-MASSAGLI, *Stechiometria*, Ed. G. Pellegrini, Pisa.

*Esami*: discussione orale di argomenti svolti nel corso, preceduta da una prova scritta consistente in esercizi e calcoli numerici (stechiometria, leggi di Faraday, termochimica, equilibri chimici in fase gas e in soluzioni ioniche).

6792

**CHIMICA APPLICATA** (per Chimici)

Docente: **Luciano Pentimalli** prof. ord.

*Programma*

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. Il Corso comprende:

Il problema dell'*acqua* nell'industria. Approvvigionamento, utilizzazione, depurazione. Acque di raffreddamento, di processo, per caldaie; acque di scarico: trattamenti fisici, chimici, biologici. Problemi di inquinamento da scarichi industriali. Sfruttamento dell'*acqua del mare*.

Il problema dell'*energia*. *Combustibili e carburanti* convenzionali (combustione, carboni fossili e derivati, gas naturali e tecnici, petrolio e prodotti di raffinazione). Problemi di inquinamento da fumi. Fonti di energia sostitutive non tradizionali. *Lubrificanti*.

*Materiali polimerici* ( plastomeri, elastomeri, materiali fibrosi). Proprietà chimico-fisiche, relazioni tra proprietà e struttura, valutazione tecnologica, lavorabilità e lavorazione.

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, *Principi 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. straord.

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. Essiccamento: 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, stoviglie, sanitari, 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 in stabilimento; i metodi in 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 gran-

dezze termodinamiche di miscele gaseose; 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 allo 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 composti. Ordine e molecolarità. Teoria microscopica dei processi elementari in fase gaseosa: 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 gaseosa 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:

LAILLER, *Chemical Kinetics* (McGraw Hill, New York).

CARRA'-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.

4123

### CHIMICA FISICA DEI POLIMERI

Docente: **Francesco Pilati** prof. inc.

Il corso si propone la finalità di fornire i concetti di base per la comprensione del comportamento chimico-fisico e dei processi di sintesi dei materiali polimerici in relazione alle loro caratteristiche applicative.

#### *Programma*

*Parte I*: definizioni fondamentali e derivate; cenni di nomenclatura; classificazione dei materiali polimerici. Composizione, costituzione e configurazioni delle macromolecole. Conformazione delle macromolecole isolate, in soluzione diluita, in massa e nella fase cristallina. Stato amorfo e cristallino nei polimeri, definizioni, proprietà e metodi di misura. Termodinamica delle soluzioni di polimeri; teoria del reticolo, equazioni per grandezze termodinamiche da essa ricavabili, cenni a teorie più recenti. Pesi molecolari, definizione delle diverse medie, funzioni e momenti della distribuzione, metodi sperimentali di misura.

*Parte II*: Aspetti generali relativi alle relazioni di polimerizzazione, aspetti termodinamici e cinetici, classificazione e caratteristiche dei principali metodi di polimerizzazione. Polimerizzazioni a catena radicalica, cationica, anionica e stereospecifica: discussione dei singoli stadi dei processi, schema cinetico e trattamento di diversi casi possibili, effetto di temperatura e pressione su velocità di polimerizzazione e grado di polimerizzazione medio numerico. Polimerizzazioni a stadi: polimerizzazione di equilibrio e di non equilibrio, bifunzionale e polifunzionale, correlazione di alcune variabili con peso molecolare e distribuzione dei pesi molecolari. Copolimerizzazioni: definizioni, equazione di copolimerizzazione per copolimerizzazioni a catena, copoli-

meri a blocchi e ad innesto. Degradazione: casi limiti di degradazione statistica e depolimerizzazione, cenni ai diversi tipi di degradazione (termica, ossidativa, fotocinematica, ecc.).

A complemento delle lezioni teoriche si terranno *esercitazioni* parte di calcolo e parte in laboratorio.

*Propedeuticità consigliate:* Chimica applicata, Chimica fisica, Chimica organica, Scienza dei materiali.

*Testi consigliati:*

I concetti fondamentali degli argomenti trattati saranno raccolti in forma di dispense e messi a disposizione degli studenti. Per un approfondimento degli argomenti trattati si consigliano i seguenti testi disponibili per la consultazione presso la biblioteca dell'istituto chimico:

H.G. ELIAS, *Macromolecules*, J. Wiley and Sons.

G. CHAMPETIER, L. MONNERIE, *Introduction a la chimie macromoleculaire*, Ed. Masson, Paris.

A.D. JENKINS, *Polymer science. A material science handbook*, vol. 1, 2, North Holland, Amsterdam.

P.W. BILLMAYER, *Textbook of polymer science*, Wiley-Interscience, New York.

Altri testi potranno essere consigliati a richiesta degli studenti.

*La prova d'esame* consiste in un colloquio sugli argomenti svolti nel corso.

137

**CHIMICA INDUSTRIALE**

Docente: **Franco Magelli** prof. inc. stab.

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, ecc. 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. "Case histories".

*Parte II. Gas di sintesi*. Reforming con vapore acqueo di metano ed idrocarburi liquidi vaporizzabili. Ossidazione parziale di idrocarburi. Altri processi. 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. *Altre utilizzazioni del gas di sintesi (cenni)*. Metanolo. Reazioni "oxo". Idrogeno. Fosgene. *Idrodessolforazione di prodotti petroliferi*. Composti solforati; reazioni; caratteristiche dei processi. *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 dell'argon. *Acido nitrico*. Ossidi di azoto: dagli elementi; per ossidazione parziale di ammoniaca. Ossidazione di NO; dimerizzazione e 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*

I. PASQUON, *Chimica Industriale I*, CLUP, Milano, 1970.

G. NATTA, I PASQUON, *Principi della Chimica Industriale*, vol. I, Tamburini, Milano, 1966.

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.

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 materiale 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

**Costruzione di Apparecchiature Chimiche**

Docente: **Vincenzo Dal Re** prof. inc. stab.

Il corso si propone di fornire le nozioni fondamentali della progettazione costruttiva e del calcolo di dimensionamento dei componenti strutturali e meccani-

ci 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 elastico 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.

5690

**COSTRUZIONI PER L'INDUSTRIA**

Docente: **Claudio Comani** prof. inc.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Edile).

**DINAMICA E CONTROLLO DELLE APPARECCHIATURE CHIMICHE**Docente: **Gabriele Pasquali** prof. inc. stab.

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 una apparecchiatura chimica. 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 le principali apparecchiature chimiche se-  
de 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 contro-corrente. Determinazione dei parametri caratteristici dalla risposta dinamica.

Trattazione approssimata per sistemi dinamici.

Stabilità, definizioni 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 re-

troazione. Criteri e metodi per la sintesi di sistemi 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. Processi continui condotti deliberatamente in stato non stazionario, operazioni pulsate ed operazioni cicliche. Processi discontinui.

#### *Testi consigliati*

J.M. DOUGLAS, *Process Dynamics and Control*, Prentice-Hall 1972.

W.L. LUYBEN, *Process modeling simulation and control for chemical engineers*, McGraw Hill.

*Esame orale.*

*Propedeuticità consigliate:* Impianti chimici, Impianti chimici II.

4685

#### **DISEGNO**

Docente: **Gianfranco Coli** prof. inc. stab.

Il corso si prefigge di fornire gli elementi essenziali del disegno meccanico con particolare riguardo al settore impiantistico. La conoscenza di tali principi è molto importante per seguire in modo proficuo alcuni corsi del triennio d'applicazione e successivamente per l'esercizio della professione. All'inizio del corso, per rendere gli allievi in grado di apprendere il disegno meccanico, vengono forniti i principi fondamentali del disegno geometrico. Ciò risulta particolarmente utile per gli studenti che affrontano il disegno per la prima volta.

#### *Programma*

Si compone di tre parti: la prima dedicata al disegno geometrico, la seconda a quello meccanico e l'ultima all'indirizzo impiantistico.

Nella prima parte vengono fornite nozioni relative alle costruzioni geometriche fondamentali, alla rappresentazione grafica di un oggetto con proiezioni ortogonali ed alle sezioni e compenetrazioni con cenno agli sviluppi. Vengono inoltre prese in esame le assonometrie oblique ed ortogonali.

Nel disegno meccanico si considera in primo luogo la normativa generale unificata per la rappresentazione dei pezzi e la loro quotatura. Per rendere gli allievi in grado di quotare gli elementi meccanici usuali si dà anche un breve cenno alle lavorazioni più comuni con asportazione di materiale. Vengono poi presi in esame i collegamenti albero-mozzo ed i cuscinetti di strisciamento e di rotolamento. Si passa successivamente ai collegamenti filettati ed a quelli ottenuti per sal-

datura e chiodatura. Infine si danno alcuni cenni sulle lavorazioni in base a tolleranze.

Nella parte impiantistica si considera la rappresentazione dei principali accessori di linea e dei collegamenti delle condotte. Si prendono quindi in esame i problemi relativi al disegno degli apparecchi di maggiore impiego nell'industria chimica come scambiatori di calore, serbatoi, ecc. Infine vengono fornite le nozioni necessarie per l'esecuzione di schemi tecnologici con la simbologia unificata e per tracciare schizzi assonometrici di condotte.

Il Corso si articola attraverso tre ore di lezione e tre di esercitazioni settimanali. Queste ultime vengono svolte in aula da disegno, in modo da rendere gli allievi in grado di eseguire settimanalmente un elaborato che viene consegnato per la correzione. Altri disegni vengono invece assegnati come compiti a casa.

Per gli allievi che hanno ottenuto una prefissata percentuale di sufficienze negli elaborati in aula, l'esame consta di una sola prova orale, mentre i rimanenti devono eseguire una prova grafica con esito positivo prima di essere ammessi all'esame orale.

#### *Testi consigliati*

G. COLI, "Corso di Disegno per Ingegneria chimica" Pitagora Editrice Bologna.

6793

#### **ELETTROTECNICA** (per Chimici, Minerari e Nucleari)

Docente: **Maria Laura Ambrosini** prof. inc. stab.

Il corso viene impostato partendo dalle equazioni fondamentali dell'elettromagnetismo, che hanno il significato di leggi generali: da esse vengono dedotte tutte le altre, tenendo naturalmente conto delle proprietà dei singoli mezzi materiali. Nello spirito di questo procedimento deduttivo vengono affrontate l'elettrostatica, l'elettrodinamica stazionaria e quasi stazionaria, riservando ampia trattazione ai bilanci energetici (con calcolo, in particolare, di forze e coppie), alle correnti alternate monofasi e trifasi, ed evidenziando i più importanti procedimenti di calcolo inerenti soprattutto allo studio dei circuiti elettrici e magnetici. Anche lo studio delle macchine elettriche viene condotto con criteri analoghi a quelli su esposti, seguendo cioè un'impostazione di carattere generale fondata su una logica unitaria valida per tutte le macchine nonostante le notevoli differenze costruttive che le distinguono. Particolare riguardo viene dedicato allo studio dei trasformatori e dei motori asincroni e a corrente continua.

#### *Programma*

Richiami e complementi di calcolo vettoriale - Equazioni generali dell'elettromagnetismo in forma locale e integrale - Equazioni di legame materiale.

Elettrostatica: potenziale elettrico; regime elettrostatico dei conduttori; schermi elettrostatici; condensatori.

Elettrodinamica stazionaria: legge di Ohm; principi di Kirchoff; collegamenti di resistenze; legge di Joule; bilancio energetico di una rete elettrica; circuiti magnetici; legge di Hopkinson; coefficienti di auto e mutua induzione; materiali ferromagnetici; magneti permanenti.

Elettrodinamica quasi stazionaria: circuiti a costanti concentrate; generalizzazione della legge di Ohm e dei principi di Kirchoff; legge dell'induzione elettromagnetica.

Bilancio energetico dei sistemi elettromagnetici: energia elettrostatica di un condensatore; energia magnetica di un insieme di circuiti; energia dissipata in un ciclo di isteresi; calcolo di forze e coppie. Il transitorio dei circuiti elettrici.

Correnti alternate: rappresentazione di grandezze sinusoidali mediante numeri complessi; legge di Ohm simbolica; impedenza di un circuito; equazioni di Kirchoff simboliche; risonanza e antirisonanza; potenze in corrente alternata; rifasamento; strumenti elettrodinamici di misura.

Sistemi trifase: generatori e utilizzatori a stella e a triangolo; teorema di equivalenza; potenze nei sistemi trifase; misure di potenza; inserzione Aron; sistemi trifase con neutro.

Le macchine elettriche: ipotesi di campo; perdite nel ferro.

Trasformatore: equazioni interne ed esterne; rete equivalente; funzionamento a vuoto e in corto circuito; trasformatori di misura; misura del rendimento di un trasformatore; trasformatori trifase.

Generalità sulle macchine rotanti in corrente alternata: nozioni costruttive; campo al traferro; onda stazionaria prodotta da un avvolgimento monofase; campo rotante prodotto da un avvolgimento polifase; f. e. m. indotta da un campo rotante.

Macchine asincrone: principio di funzionamento; equazioni interne ed esterne; teorema di equivalenza; coppia di una macchina asincrona; rete equivalente; funzionamento da motore, generatore e freno; curve caratteristiche; avviamento; rotore ed anelli, a gabbia e a doppia gabbia.

Macchine sincrone: principio di funzionamento.

Macchine in corrente continua: anello di Pacinotti; f.e.m. indotta fra le spazzole; coppia di una macchina a corrente continua; dinamo autoeccitata in derivazione; motore a corrente continua con eccitazione in parallelo; avviamento e regolazione di velocità; caratteristica meccanica; motore a corrente continua con eccitazione in serie.

*Testo consigliato*

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

**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. - *Fluodinamica dei piatti.* Particolari costruttivi. - *Colonne riempite.* Perdite di carico e velocità limite. Calcolo del volume delle colonne d'assorbimento. Equazione di Whitman. Metodo delle unità di trasporto. Considerazioni economiche; confronto con le colonne a piatti. Abbinamento di colonne di assorbimento e stripping. Disposizioni impiantistiche. - *Distillazione.* Distillazione continua e discontinua di sistemi binari e a più componenti, in apparati a singolo stadio. Colonna completa. Colonne di arricchimento puro e di esaurimento puro. Gradi di libertà. Sistemi binari: metodo di McCabe-Thiele e metodo entalpia concentrazione. Calcolo colonne di distillazione di sistemi a più componenti: metodo 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: Alceo Gatta prof. inc. stab.

*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 fondamentali di teoria del reattore chimico.

Per la prima parte il fine è quello stesso del corso d'Impianti Chimici; nella trattazione dei fondamentali 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 moto di fasi fluide.* Il problema della determinazione delle perdite di carico per il moto di fluidi nelle situazioni tipiche dell'ingegneria chimica. 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. Calcolo del diametro ottimo di un condotto. Metodi per la soluzione di problemi relativi a reti di condotti.

Calcolo delle perdite di carico in riempimenti granulari. Fluidizzazione: generalità e fondamentali 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.

*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 catali-

tiche, reazioni enzimatiche, reazioni a catena con particolare riferimento alle reazioni di polimerizzazione. Elementi di catalisi eterogenea: adsorbimento fisico e chemi-adsorbimento; processi diffusivi all'esterno e all'interno del catalizzatore. Fattore di efficienza di un catalizzatore: definizione e calcolo per le geometrie tipiche in condizioni isoterme e no. Criteri pratici per la determinazione del regime dominante il processo catalitico. Reazioni gas-liquido: generalità e individuazione dei parametri caratteristici di calcolo di un reattore gas-liquido.

I modelli ideali di un reattore chimico e gli elementi fondamentali di calcolo in condizioni isoterme e no, in presenza di una reazione singola e di un sistema complesso di reazioni chimiche; resa, selettività e problemi di ottimo. Analisi del funzionamento di un reattore chimico: determinazione dello stato stazionario; molteplicità di stati stazionari; stabilità di uno stato stazionario. Batterie di reattori chimici: generalità e studio di alcune situazioni tipiche. Reattori adiabatici a stadi multipli: problemi di ottimo. Considerazioni sugli scostamenti dei reattori chimici dai modelli fluidodinamici ideali. Elementi di calcolo di reattori catalitici eterogenei. Modelli di calcolo per reattori a letto fisso e a letto mobile.

*Propedeuticità consigliate:* Fisica tecnica, Chimica fisica, Principi di ingegneria chimica.

*Testi consigliati:*

Per la teoria del reattore chimico:

- 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. Durante lo svolgimento del corso vengono effettuate alcune prove scritte il cui superamento consente di accedere direttamente al colloquio orale; la partecipazione alle prove scritte "in itinere" è facoltativa.

2021

**METALLURGIA E METALLOGRAFIA**Docente: **Giorgio Poli** prof. inc. stab.

Finalità del corso: Caratterizzazione dei materiali metallici e loro comportamento in esercizio.

**Programma**

Richiami di chimica-fisica con particolare riguardo a problemi di interesse metallurgico: equilibri di ossido-riduzione e diagrammi variazione di energia libera-temperatura; soluzioni ideali e reali; diagrammi di stato.

Cenni di metallurgia fisica: caratteristiche dei metalli e leghe allo stato liquido; stato solido con elementi di cristallografia; passaggio di stato liquido-solido: nucleazione omogenea ed eterogenea, solidificazione di leghe binarie, fenomeni di segregazione; struttura delle leghe metalliche: soluzioni solide, fasi intermedie, eutettici; struttura reale dei solidi cristallini: stato difettivo dei metalli; evoluzione dello stato difettivo dei metalli in seguito a trattamenti meccanici, termici, termomeccanici; valutazione delle proprietà meccaniche dei metalli; rinforzo dei materiali metallici in ragione del loro impiego pratico: trasformazioni martensitiche, tempra di soluzione, rinforzo per dispersione.

Metallurgia estrattiva: siderurgia: aspetti chimico-fisici della siderurgia; teoria della riduzione degli ossidi di ferro; reazioni carbonio-ossigeno; problema dello zolfo e del fosforo; reazioni del cromo, del manganese e del silicio; gas nei metalli; la fabbricazione della ghisa: l'altoforno e sua termochimica; conversione ghisa-acciaio: processo LD, forno Martin-Siemens, acciaio al forno elettrico; caratteristiche meccaniche dei prodotti siderurgici e loro miglioramento: le ghise comuni e speciali, trattamenti termici degli acciai, funzione degli elementi di alligazione, acciai tipizzati per i diversi impieghi; nomenclatura degli acciai.

Metallurgia non ferrosa: problemi di carattere generale; le metallurgie termiche: zinco, piombo, rame, stagno, nichel; metallo-alogenoterma: titanio, zirconio, uranio; la metallurgia elettrochimica: problemi generali; idroelettrometallurgia e elettrometallurgia in sali fusi; preparazione dell'alluminio; alluminoterma: cromo.

Impiego dei materiali metallici in condizione operative speciali: materiali per alte e basse temperature, di elevata resistenza meccanica; materiali resistenti nei diversi ambienti corrosivi; leghe leggere; leghe antifrizione.

La corrosione secca: aspetti termodinamici e cinetici. La corrosione a umido per contatto, vaiolatura, intergranulare, sotto sforzo, per fatica, per sfregamento. Danneggiamento dei materiali metallici da gas. Tecniche di prevenzione della corrosione.

**Testi consigliati**

J. BENARD, A. MICHEL, J. PHILIBERT, J. TALBOT, "Métallurgie Générale", Masson & Cie Editeurs, Paris 1969.

G. VIOLI, *Processi Siderurgici*, ETAS KOMPASS, Milano 1972.

*Propedeuticità consigliate*: Chimica applicata, Chimica Fisica.

**PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA**Docente: **Franco P. Foraboschi** prof. ord.

Il corso poliennale di Principi di ingegneria chimica ha per oggetto lo studio dei modelli fisici e matematici di base, sui quali si fondano progettazione funzionale e simulazione degli apparati dell'industria chimica; lo studio è indirizzato verso una conoscenza "operativa" di detti modelli, tale cioè da consentire all'allievo la schematizzazione dei principali processi che hanno luogo negli apparati dell'industria chimica.

Nel primo corso viene studiato il modello di impianto chimico come rete di correnti materiali ed energetiche colleganti un sistema di "scatole nere".

*Programma*

## 1. Introduzione

- a) L'impianto chimico come sistema termodinamico: definizioni, ipotesi, variabili, equazioni.
- b) Apparati discontinui, continui e semicontinui: considerazioni generali.
- c) Rappresentazione schematica degli impianti chimici: diagrammi a blocchi (semplici e quantificati), grafi, matrici di presenza, diagrammi fiume, schemi di processo e di marcia.

## 2. Stato di una corrente materiale od energetica

- a) Variabili fisico-chimiche: definizioni, unità di misura, metodi di misura, relazioni.
- b) Variabili di flusso: definizioni, unità di misura, metodi di misura, relazioni.
- c) Reperimento, elaborazione e rappresentazione dei dati.

## 3. Equazioni integrali di bilancio

- a) Bilancio di materia: varie forme; cambiamento della base di bilancio; il termine generativo; applicazioni.
- b) Bilancio di quantità di moto: equazione; applicazione.
- c) Bilancio di energia: varie forme; cambiamento della base di bilancio e delle unità di misura; equazioni semplificate; esplicitazione dell'effetto termico delle reazioni chimiche; applicazioni.
- d) Bilancio entropico: equazione; exergia; lavoro massimo; applicazioni.
- e) Bilanci di materia ed energia per i processi con riciclo: numero di variabili indipendenti e specifica base; applicazione a casi semplici.

## 4. Stadi di equilibrio

- a) Modello di stadio di equilibrio; definizione, ipotesi generali; esempi.
- b) Singoli stadi: equazioni; gradi di libertà; specifiche di verifica e di progetto; presenza di reazioni chimiche; partitori di corrente.
- c) Sistemi di stadi: variabili, equazioni, gradi di libertà; specifiche di verifica e di progetto.
- d) Stadi reali: cause di deviazione dal comportamento ideale; rendimento di Murphree senza e con trascinamento; relazione di Colburn; rendimento globale; diagrammi di equilibrio pratico.

e) Applicazioni a sistemi liquido-gas, liquido-vapore, liquido-liquido, liquido-solido; soluzioni analitiche, grafiche e numeriche.

5. Applicazioni a specifici processi chimici

- a) Processi di combustione.
- b) Processi produttivi vari.

*Testi consigliati:*

a) per il corso:

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

U. LELLI, *Il bilancio energetico*, Zanichelli, 1958.

b) per le esercitazioni:

R. PERRY, *Chemical Engineers' Handbook*, McGraw Hill, 1973.

O.A. HOUGHEN, K.M. WATSON, R.R. RAGATZ, *Principi dei processi chimici*, vol. 1, Casa Editrice Ambrosiana, 1967.

R.M. FELDER, R.W. ROUSSEAU, *Elementary Principles of Chemical Processes*, J. Wiley, N.Y. 1978.

E.J. HENLEY, E.M. ROSEN, *Material and Energy Balance computations*, J. Wiley, N.Y. 1969.

c) per gli argomenti propedeutici:

P. CHIORBOLI, *Fondamenti di Chimica*, UTET, 1975.

M.W. ZEMANSKY, *Calore e termodinamica*, Zanichelli, Bologna, 1970.

M.W. ZEMANSKY, M.M. ABBOTT, H.C. VAN NESS, *Fondamenti di termodinamica per ingegneri*, Zanichelli, Bologna, 1979.

4641

## **PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II**

Docente: **Francesco Santarelli** prof. straord.

Nella seconda parte del corso poliennale di Principi di Ingegneria Chimica viene affrontato il problema della modellazione di apparati chimici sulla base di modelli fluidodinamici semplici e di un'analisi condotta nell'ambito della termomeccanica dei mezzi continui.

### *Programma*

1. Modelli fluidodinamici semplici

- a) Fase perfettamente miscelata: definizione, proprietà, esempi; distribuzione dei tempi di permanenza; bilanci di materia ed energia; applicazioni.
- b) Corrente monodimensionale: definizione, proprietà, esempi; distribuzione dei tempi di permanenza; bilanci di materia, quantità di moto ed energia (termica e meccanica); grandezze di miscela; applicazioni.

## 2. Equazioni cinetiche tipo legge di Ohm per il trasporto interfacciale

- a) Considerazioni generali: interfacce; densità di flusso interfacciale; coefficiente di trasporto e forza motrice.
- b) Trasporto di quantità di moto: fattore d'attrito o di Fanning; fattore di Fanning modificato per mezzi porosi; coefficienti di trascinamento e di sollevamento; applicazioni.
- c) Trasporto di calore: coefficiente di convezione; condizioni interfacciali; resistenza termica degli strati piani, cilindrici e sferici; coefficiente globale; applicazioni.
- d) Trasporto di materia: coefficiente di trasporto; condizioni interfacciali; coefficiente globale; unità di trasporto; applicazioni.
- e) Relazioni adimensionali per il calcolo del fattore d'attrito, del coefficiente di convezione e del coefficiente di trasporto di materia.

## 3. Elementi di dinamica e controllo

- a) Cenni sulla trasformata di Laplace.
- b) Funzioni di trasferimento: generalità, esempi (fase perfettamente miscelata, corrente monodimensionale, loro combinazioni, ecc.); funzione di trasferimento di disturbi di concentrazione e distribuzione dei tempi di permanenza; funzioni di trasferimento razionali.
- c) Comportamento dinamico di sistemi semplici, rispetto a disturbi caratteristici (gradino, impulso, sinusoidale); risposta frequenziale e diagramma di Bode.
- d) Controllo a retroazione: componenti di una catena di controllo; modi fondamentali di controllo, stabilità (criteri di Routh-Hurwitz e di Bode); scelta dei parametri del controllore (criterio di Ziegler-Nichols); applicazioni.

## 4. Elementi di meccanica di fluidi newtoniani

- a) Bilancio locale di materia e quantità di moto per un mezzo continuo.
- b) Tensore degli sforzi e sua equazione costitutiva per fluidi newtoniani.
- c) Soluzione dell'equazione di Navier per casi semplici di moto laminare di fluidi newtoniani incompressibili. Cenni su moto essenzialmente viscoso, moto di fluido perfetto, teoria dello strato limite.
- d) Moto in condotti e in canali a pelo libero.

## 5. Elementi di termomeccanica dei mezzi continui con composizione non uniforme

- a) Bilanci locali di materia, quantità di moto e d'energia per le singole specie chimiche e per il moto medio.
- b) Equazioni costitutive: "leggi" di Fick, Fovrier, Newton. Cenni sui fluidi non-newtoniani. Cenni di termodinamica dei processi irreversibili.
- c) Trasporto molecolare: diffusività di materia, calore e quantità di moto. Numeri di Schmidt, Prandtl e Lewis. Richiami sulla conduzione termica. Diffusione stazionaria (controdiffusione equimolare; diffusione in film stagnante). Diffusione non stazionaria.
- d) Trasporto turbolento: considerazioni generali sulla turbolenza. Le equazioni di bilancio locale espresse con le grandezze medie locali. Flussi turbolenti di quantità di moto, calore e materia. Diffusività turbolente. Cenni sulla teoria della lunghezza di mescolamento. Diffusione e reazione chimica in un fluido in moto in un condotto (diffusività equivalente; equazione differenziale per la concentrazione di un compo-

nente; numeri di Bodenstein, Péclet diffusivo e Damköhler; condizioni al contorno).  
 e) Relazioni per il calcolo dei coefficienti di trasporto in una fase: condizioni di similitudine per il regime fluidodinamico, termico e di concentrazione (numeri di Reynolds, Froude, Mach, Péclet, Grashof, Rayleigh, Nusselt, Sherwood). Analogie tra trasporto di calore, materia e quantità di moto (analogie di Reynolds, Prandtl, Lewis e Whitman, Chilton e Colburn). Teoria della penetrazione per il calcolo dei coefficienti di trasporto di materia in fase liquida (teorie di Higbie e Danckwerts). Formule sperimentali.

#### *Testi consigliati*

F.P. FORABOSCHI, *Principi di Ingegneria Chimica*, UTET, Torino, 1973.

R.B. BIRD, W.E. STEWART, E.N. LIGHTFOOT, *Fenomeni di trasporto*, Edizione italiana C.E.A., Milano, 1970.

S. WHITAKER, *Introduction to Fluid Mechanics*. Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, 1968.

M.M. DENN, *Process Fluid Dynamics*. Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, 1980.

5802

### **PROPRIETA' TERMODINAMICHE E DI TRASPORTO**

Docente: **Giulio Cesare Sarti** prof. inc.

Scopo del corso è quello di dare una visione unificante, nell'ambito della termeccanica dei mezzi continui, dei processi fisici e chimici elementari, caratteristici delle situazioni di normale interesse per l'ingegnere chimico. Partendo dalle equazioni di conservazione di validità generale per i mezzi continui (leggi), attraverso l'individuazione delle modalità di comportamento di classi di materiali (equazioni costitutive), lo studente è posto in condizione di scrivere le equazioni con cui costruire il modello matematico di un dato fenomeno. Parallelamente vengono fornite tecniche specifiche per il calcolo di proprietà fisico-chimiche di fluidi puri e di miscele di particolare interesse per l'ingegnere chimico. Particolare attenzione è riservata a quei modelli di struttura molecolare che permettono di ottenere, per le grandezze di interesse, dei valori di previsione accettabili per i calcoli tecnici. L'esame, per una vasta serie di casi dei modelli matematici introdotti eventualmente semplificati sulla base di considerazioni fisiche, fornisce poi strumenti per valutare una serie di situazioni d'interesse pratico.

#### *Programma*

Elementi di calcolo tensoriale.

Elementi di cinematica per mezzi continui a uno o più componenti.

Equazioni di bilancio locale di materia, quantità di moto, energia (totale, termica, meccanica) per mezzi continui a uno o più componenti.

Equazioni costitutive del tensore degli sforzi; equazione di Navier-Stokes; condizioni per la similitudine dinamica di moti in regioni geometricamente simili; soluzione esatta dell'equazione di moto per fluidi, newtoniani e no, in situazioni di flusso unidirezionale; creeping flow; flusso potenziale; equazione di Bernoulli; strato limite laminare.

Equazioni costitutive per il vettore densità di flusso di calore; equazione di Fourier; condizioni per la similitudine dinamica e termica; conduzione di calore in regioni piane e cilindriche; scambio termico con fluidi in moto con proprietà fisiche costanti; convezione naturale termica; convezione mista.

Equazioni costitutive del vettore densità di flusso diffusivo di materia, equazione generalizzata di Fick, flusso di Stefan, condizioni per la similitudine delle distribuzioni di velocità temperatura e concentrazione in moti in regioni geometricamente simili, diffusione pura in regioni piane e cilindriche, soluzioni della equazione generalizzata in assenza e in presenza di reazioni chimiche, strato limite con trasporto simultaneo di quantità di moto, calore e materia, convezione naturale di materia.

Restrizioni per le equazioni costitutive; termodinamica razionale; termodinamica dei processi irreversibili.

Proprietà di trasporto in gas e liquidi. Teoria di Eyring. Viscosità di sostanze pure, di soluzioni e viscosità di sospensioni. Conducibilità termica di sostanze pure e di soluzioni. Trasporto diffusivo di materia: coefficienti di autodiffusione, coefficienti di diffusione in miscele binarie. Diffusione in miscele multicomponenti.

Turbolenza, fluttuazioni e grandezze mediate, teorie fenomenologiche della turbolenza (ipotesi di Boussinesq, teoria lunghezza di mescolanza), profili universali di velocità.

Equazioni integrali di bilancio di materia, quantità di moto, energia (totale, termica e meccanica) per una corrente fluida.

Trasporto interfacciale di quantità di moto, fattore d'attrito, coefficiente di forma e di trascinamento, relazioni per il calcolo del fattore d'attrito, calcolo di perdite di carico.

Trasporto interfacciale di calore, coefficiente di convezione termica, numero di Nusselt, analogie di Reynolds, di Prandtl, di Lewis-Whitman, e di Chilton e Colburn fra trasporto di calore e di quantità di moto.

Trasporto interfacciale di materia, coefficiente di trasporto di materia, numero di Sherwood, numero di Sherwood generalizzato; analogie fra trasporto di materia e di quantità di moto, modello del rinnovo superficiale per il calcolo dei coefficienti di trasporto. Applicazione a problemi di particolare interesse per l'industria chimica.

#### *Testi consigliati:*

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

R.B. BIRD, W.E. STEWART, M.E. LIGHTFOOT, *Fenomeni di trasporto*, CEA, Milano, traduzione di "Transport Phenomena", Wiley Int. Ed., N.Y. 1960.

S. WHITAKER, *Introduction to Fluid Mechanics*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1968.

R. REID, J.M. PRAUSNITZ, T. SHERWOOD, *The Properties of Gases and Liquids*, McGraw-Hill, 1977.

*Propedeuticità consigliata*: Principi di ingegneria chimica.

L'esame si articola in una prova scritta e in un colloquio.

2235

## SCIENZA DEI MATERIALI

Docente: **Franco Sandrolini** prof. straord. (supplente)

Il corso si propone di fornire gli elementi della Scienza dei Materiali necessari per una comprensione unitaria dei processi tecnologici e delle modalità di applicazione dei materiali da parte dell'ingegnere.

### *Programma*

Materiali monocristallini, policristallini ed amorfi. Polimeri e copolimeri; ordine strutturale, cristallinità e proprietà fisiche e tecnologiche. Imperfezioni nei materiali cristallini (dinamiche e statiche, di equilibrio e di non equilibrio) e proprietà nei materiali polifasici. Microstruttura e proprietà fisico-meccaniche dei materiali. Materiali compositi. Richiami sui diagrammi di stato. Soluzioni solide e proprietà dei materiali; "leghe polimeriche" e copolimeri. Processi di non equilibrio nei materiali: segregazione, involuppi, reazioni anomale tra fasi, etc., nucleazione ed accrescimento di nuove fasi. Trasporto di materia e struttura dei materiali. Leggi di Fick. Esempi ed applicazioni. Effetto Kirkendall. Diffusione nei materiali policristallini (metallici, ceramici e polimerici). Sinterizzazione e metallurgia delle polveri. Proprietà meccaniche dei materiali. Elasticità lineare e non lineare. Plasticità e meccanismi di deformazione plastica nei materiali. Incrudimento, riassetto e ricristallizzazione nei metalli. Comportamento meccanico dei materiali ceramici. Comportamento meccanico dei materiali polimerici. Viscoelasticità. Modelli reologici. Frattura nei materiali. Teoria di Griffith, Irwin, etc. Cenni alle proprietà elettroniche dei materiali: conduttori, semiconduttori, isolanti, Criteri generali di scelta dei materiali. Sicurezza ed affidabilità. Scelta in base alle condizioni di impiego. Scelta dei materiali per impieghi strutturali. Normativa e applicazioni.

### *Testi consigliati*

J. WULFF (et al.), *Struttura e Proprietà dei Materiali*, Vol. 4, CEA Milano, 1976.  
A.G. GUY, *Introduction to Materials Science*, Ed McGraw-Hill, 1975.

*Propedeuticità consigliate*: Chimica applicata, Chimica fisica.

Sono previste *esercitazioni* settimanali su calcoli pratici, su argomenti collaterali e sulla determinazione pratica di alcune proprietà dei materiali (cristallinità, densità di dislocazioni, peso molecolare medio polimerico).

*Esame orale.*

*Tesi di Laurea:* Proprietà elettriche di materiali polimerici e compositi. Proprietà meccaniche e microstruttura di materiali compositi polimerico-cementizi. Proprietà meccaniche (con particolare riguardo alla frattura) e microstruttura di materiali ceramici. Sinterizzazione di materiali ceramici. Proprietà ed applicazioni di nuovi materiali.

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.

*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. La progettazione degli apparecchi non a pressione con particolare riguardo alle norme API. Verifiche di stabilità. Norme e indicazioni per la stesura dei disegni costruttivi degli apparecchi.

La progettazione meccanica degli scambiatori di calore.

Le tubazioni, gli accessori di linea e gli organi di intercettazione.

Gli impianti elettrici nell'industria chimica.

La pianificazione e lo sviluppo 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 degli impianti. Indicazioni per l'esecuzione dei disegni edili, dei disegni di montaggio meccanico (con particolare riguardo agli schizzi per la prefabbricazione delle tubazioni) e dei disegni elettrici. Lo sviluppo dei disegni esecutivi di montaggio degli strumenti. Selezione ed approvvigionamento dei materiali e commissione dei lavori. 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 interrato, montaggio delle apparecchiature, montaggio dei macchinari, montaggio delle tubazioni e dei relativi accessori, lavori elet-

trici, montaggio degli apparecchi di misura e controllo, lavori di allacciamento del nuovo impianto, collaudo 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.

*Testi consigliati:*

NERI, *Progettazione e sviluppo degli impianti chimici*, Ed. Vallecchi, Firenze.  
API STANDARD 650, *Welded Steel Tanks*, American Petroleum Institute.

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 al progetto realizzativo di un impianto chimico.

2049

**TECNOLOGIE GENERALI**

Docente: **Gustavo Favretti** prof. ord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria nucleare)

6529

**TECNOLOGIA CHIMICA DEL DISINQUINAMENTO**

Docente: **Franco P. Foraboschi** prof. ord. (supplente)

Il corso tratta la tematica dell'inquinamento ambientale con particolare riferimento alla tecnologia degli interventi per l'eliminazione e la riduzione dello stesso e dei suoi effetti.

1. *L'inquinamento dell'atmosfera, delle acque e del suolo.*
  - 1.1. L'ecosistema e le sue componenti.
  - 1.2. I principali inquinanti di natura chimica, fisica e biologica nell'ambiente esterno e negli ambienti di lavoro e abitativi (tipi, proprietà, parametri caratterizzanti, effetti).
  - 1.3. Le principali sorgenti d'inquinanti (naturali e antropogeniche; civili e industriali; fisse e mobili; permanenti e occasionali).
  - 1.4. Propagazione ed evoluzione degli inquinanti (concetti elementari di climatologia, meteorologia, idrologia, idrografia, fenomeni di trasporto e

trasformazione di inquinanti, propagazione di onde di pressione ed elettromagnetiche).

- 1.5. Interventi contro l'inquinamento: la tutela dell'ambiente come problema di conservazione di risorse; modalità d'intervento (sul processo; sull'emissione; sull'immissione; di protezione; di terapia); analisi costi/benefici.
  - 1.6. Normative contro l'inquinamento: presupposti tecnici; principali linee d'intervento, normativa italiana e CEE; cenni sulle normative dei principali paesi; il tecnico e l'applicazione della normativa.
2. *Operazioni e processi unitari nella tecnologia del disinquinamento.*
- 2.1. Le operazioni e i processi unitari della tecnologia chimica.
  - 2.2. Trasporto e deposito di fluidi e solidi: convogliamento e deposito di fluidi inquinati (cappe di aspirazione; reti di ventilazione; fognature; camini; reti di convogliamento di scarichi d'emergenza; gasometri; serbatoi; bacini; ecc.); movimentazione e deposito di rifiuti solidi (fanghi di depurazione e di processo; rifiuti solidi urbani; ecc.).
  - 2.3. Miscelazione di sistemi mono- e poli-fasici (omogeneizzazione di scarichi; aggiunta di reagenti; aerazione di liquami; sospensione della biomassa nei liquami; ecc.).
  - 2.4. Separazione di sistemi polifasici: abbattimento di inquinanti particolati da correnti gassose; abbattimento di inquinanti solidi da correnti liquide; ispessimento ed essiccamento meccanico di fanghi; ecc.
  - 2.5. Trasmissione del calore: scambiatori di calore sensibile (raffreddamento o di riduzione dell'inquinamento termico, di recuperi energetici); condensatori (abbattimento di vapori inquinanti); evaporatori (concentrazione di soluzioni liquide); ecc.
  - 2.6. Trasporto di materia: assorbimento (abbattimento di inquinanti gassosi); stripping (rimozione di inquinanti gassosi da fasi liquide); distillazione (depurazione di correnti liquide); deumidificazione (abbattimento di vapori inquinanti da correnti gassose); adsorbimento (depurazione di correnti fluide su carbone attivato, setacci molecolari, ecc.); essiccamento termico (di fanghi di depurazione o di processo, ecc.); cristallizzazione (depurazione di correnti liquide); estrazione (depurazione correnti liquide, lavaggio fanghi).
  - 2.7. Propagazione di onde di pressione ed elettromagnetiche: sistemi di protezione da rumori, vibrazioni, onde esplosive, microonde, radiazioni termiche, radiazioni ultraviolette e radiazioni ionizzanti.
  - 2.8. Reazioni chimiche: reattori (discontinui, continui, semicontinui; omogenei, eterogenei; a miscelazione, tubolari, a stadi); reazioni di neutralizzazione (trattamento di scarichi liquidi acidi o basici), ossido-riduzione (trattamento di scarichi liquidi inquinati da cianuri, cromo esavalente, ecc.); ossidazione chimica di sostanze organiche; ecc.), precipitazione (abbattimento di ioni di metalli pesanti, ione solforico, ecc.); combustione (ossidazione di inquinanti organici in correnti gassose, fanghi di depurazione, rifiuti solidi urbani, ecc.), biologiche (trasformazione aerobica o ana-

erobica di composti organici), ecc.

3. *Esempi di impianti.*

- 3.1. Ventilazione di un reparto di lavorazione.
- 3.2. Camino di una centrale termica.
- 3.3. Abbattimento degli inquinanti atmosferici emessi da una sorgente fissa industriale.
- 3.4. Sistema di torce di un'industria petrolchimica.
- 3.5. Potabilizzazione dell'acqua.
- 3.6. Depurazione di liquami urbani.
- 3.7. Depurazione di acque reflue di un'industria alimentare.
- 3.8. Depurazione di acque reflue di un'industria galvanotecnica.
- 3.9. Forno inceneritore di rifiuti solidi urbani.

1142

**TEORIA E SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI**

Docente: **Carlo Stramigioli** prof. inc. stab.

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 ottimizzazione 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 ottimizzazione*: considerazioni generali: massimo profitto; metodi con funzioni obiettivo in una sola variabile; metodi con funzioni obiettivo in più variabili; programmazione lineare; programmazione dinamica.

7 *Applicazioni ad impianti chimici.*

*Testi consigliati:*

- F.A. HOLLAND, F.A. WATSON, J.K. WILKINSON, *Introduction to Process Economics*, J. Wiley.
- M.S. PETERS, K.D. TIMMERHAUS, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, McGraw Hill.
- D.F. RUDD, C.C. WATSON, *Strategy of Process Engineering*, J. Wiley.
- A. CAPPELLI, M. DENTE, *Teoria e Sviluppo dei Processi chimici*, CLUP, Milano.

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MINERARIA 2005**

Programmi delle materie di insegnamento.

Per le seguenti materie del biennio propedeutico:

- 1350 Analisi matematica I
- 1354 Analisi matematica II
- 1358 Chimica
  - 92 Chimica applicata
- 1363 Disegno
- 3781 Disegno II
- 1367 Fisica I
- 1370 Fisica II
- 1374 Geometria
- 1378 Meccanica razionale

v. Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica.

Per le seguenti materie del triennio di applicazione:

- 430 Fisica tecnica
- 2007 Geotecnica (sem.)
- 490 Idraulica
- 496 Idrologia e idrografia
- 890 Scienza delle costruzioni
- 1026 Tecnica delle costruzioni
- 2008 Tecnica delle fondazioni (sem.)

v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile.

- 663 Macchine
  - 1385 Meccanica applicata alle macchine
- v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica.

54

**ARTE MINERARIA**

Docente: **Dioscoride Vitali** prof. inc. stab.

Il corso si propone di delineare i principi di base e di fornire le conoscenze tecniche per la coltivazione dei giacimenti minerali. 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 artifici da mina. Teoria dell'abbattimento. Disposizione delle mine negli scavi. Lo sgombrò 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, educazione.

*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 traccamenti. 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

Docente: Antonio Natali prof. inc.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Chimica).

254

4125

**CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI**

Docente: **Alberto Bucchi** prof. straord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Idraulica).

4131

**DIFESA E CONSERVAZIONE DEL SUOLO**

Docente: **Alberto Bizzarri** prof. inc. stab.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Idraulica)

275

**ELETTROTECNICA (per Chimici, Minerari, Nucleari)**

Docente: **Maria Laura Ambrosini** prof. inc. stab.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Chimica)

454

**GEOFISICA MINERARIA**

Docente: **Daniele Postpischl** prof. inc.

Generalità sulla posizione dei problemi e sui metodi di indagine della Geofisica Mineraria. Aspetti geologici e aspetti geofisici della ricerca. Metodo gravimetrico. Il campo normale della gravità: pendoli, gravimetri e bilancia di torsione. Riduzione delle misure di gravità: correzione di Faye, di Bouguer e correzione topografica. Ipotesi isostatica. Influenza dei corpi celesti sulla gravità: esecuzione di

prospezioni gravimetriche. Calcolo e riduzione dei valori osservati. Interpretazione dei risultati di un rilievo gravimetrico: metodo diretto e metodi indiretti. Metodo magnetometrico: generalità. Proprietà magnetiche delle rocce. Campo magnetico terrestre. Strumenti di misura del campo magnetico: variometri magnetici. Esecuzione di prospezioni geomagnetiche. Riduzione delle misure. Calcoli ed interpretazione dei risultati. Metodi sismici. Generalità. Proprietà elastiche delle rocce. Onde elastiche e loro propagazione. Teoria della sismica a rifrazione: dromocrone. Determinazione delle profondità di più stati sovrapposti. Dromocrone caratteristiche dei principali tipi di formazioni. Esecuzione di prospezioni sismiche: profili continui, profili incrociati, rilievi a ventaglio. Riduzione dei valori osservati ed interpretazione dei risultati. Teoria della sismica e riflessione. Determinazione della velocità. Calcolo della profondità e della inclinazione di uno strato con il metodo a riflessione. Rilievo delle strutture più interessanti dal punto di vista minerario. Apparecchiature sismometriche e loro funzione. Teoria dei sismografi. Apparecchiature per l'amplificazione, il filtraggio e la registrazione. Vari tipi di marca-tempo. Riduzione delle misure ed interpretazione dei risultati. Metodi elettrici. Generalità. Proprietà elettriche delle rocce. Classificazione dei metodi elettrici. Metodo dei potenziali spontanei: considerazioni teoriche. Elettrodi impolarizzabili. Apparecchiature per l'esecuzione delle misure. Interpretazione dei risultati. Prospezioni geoelettriche con il metodo della resistività apparente. Studio di due terreni di resistività diversa sovrapposti. Metodo di Hummel. Curve di Tagg. Teoria di S. Stefanescu. Studio di tre terreni. Metodo di calcolo di Flathe. Corrispondenza tra il metodo di Hummel e quello di Stefanescu. Esecuzione delle misure ed interpretazione dei risultati. Carotaggio elettrico. Carotaggio radioattivo: cenno.

*Testi consigliati:*

Dispense del corso (in distribuzione presso l'Istituto).

C. MORELLI, *Geofisica applicata*, Trieste 1967.

G. FULCHERIS, *Corso di Geofisica mineraria*, voll. I e II, Levrotto e Bella, Torino, 1969.

DOBRIN, *Introduction to Geophysical Prospecting*, McGraw-Hill, 1975.

464

**GEOLOGIA**

Docente: **Carlo Elmi** prof. inc. stab.

*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, CIVITA, 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. Distinguere nell'ambito delle regioni i vari giacimenti e la loro influenza nel campo economico.

*Programma*

Definizione di giacimento minerario. Classificazione dei giacimenti. Rassegna dei fattori determinanti le condizioni di sfruttamento delle mineralizzazioni. Giacimenti generali e speciali. Esame dei metodi di ricerca e di esplorazione dei giacimenti. Stima dei giacimenti: cubatura e tenori. Giacimento di origine magmatica. Distribuzione delle mineralizzazioni attorno alle masse intrusive. Giacimenti liquido magmatici. Giacimenti di smistamento allo stato liquido. Giacimenti di segre-

gazione 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. Province 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: **Fulvio Ciancabilla** prof. straord. (inc.)

1. *Il ciclo dell'acqua*
2. *Caratteristiche delle acque*
3. *Elementi di geoidrogeologia*; Equazione del moto dell'acqua nelle falde confinate e non confinate, Prove di strato
4. *Le opere di captazione delle acque sotterranee*
5. *Le acque termominerali*; Le origini e la composizione, La temperatura delle acque termominerali, Classificazione delle acque minerali e termominerali, Schemi idrogeologici delle acque termominerali, I meccanismi di emergenza, Le captazioni e le norme igienico-sanitarie relative all'utilizzazione ed alle conservazione delle acque termominerali
6. *Le acque termali come fonte di energia*; I vapori endogeni.

**IMPIANTI MINERARI**Docente: **Dioscoride Vitali** prof. inc. stab.*Finalità del corso:*

Illustrare criticamente i vari impianti e servizi di miniera, fornendo per ognuno di essi i principali elementi di calcolo.

*Programma*

*Finalità tecniche ed economiche di un impianto.* Impianti minerari in coltivazioni sotterranee ed a cielo aperto: criteri di ammortamento e di rinnovamento, problemi di ubicazione. Fonti di energia disponibili. *L'aria compressa.* Tipi di compressori. Centrale di compressione. Calcolo del consumo dell'aria. Calcolo della rete di distribuzione. Manutenzione della rete; fughe d'aria. *L'energia elettrica.* Tipi di corrente. Tensioni di alimentazione. Schema di tipo di una rete elettrica di miniera. Problemi di sicurezza, che condizionano l'impianto. Tipi di rete. Messa a terra delle reti. Apparecchiature antigrisuose. Cavi elettrici di miniera: criteri di scelta, calcolo e messa in opera. Apparecchiature di interruzione per alta e bassa tensione. Trasformatori. Motori elettrici. *Trasporto del minerale.* Funzione e classificazione dei trasporti di miniera. Trasporti di cantiere e lungo le vie principali di carreggio. Analisi dei trasporti continui: caratteristiche costruttive, criteri di calcolo, modalità d'impiego. Analisi dei trasporti su rotaie. Nozioni di meccanica della trazione. I locomotori e gli altri mezzi di trazione. Il problema dell'organizzazione dei trasporti interni. Trasporti esterni: su strada ordinaria, con ferrovia, con mezzi funicolari, impianti di lizzatura. I mezzi di carico del materiale. *Immagazzinaggio del minerale:* le discariche. *Estrazione.* Tipi di impianto. Attrezzature dei pozzi. Apparecchiature ed organizzazione delle stazioni. Macchine di estrazione. Equilibramento statico e dinamico delle macchine. Castelletti e torri d'estrazione. Impianti di estrazione a nastro. Impianti di estrazione idraulica. *Ventilazione delle miniere.* Scopi della ventilazione. Composizione dell'aria in miniera. Temperatura ed umidità. Leggi della ventilazione: calcolo della resistenza dei singoli condotti; orifizio equivalente. Ripartizione della corrente d'aria in sotterraneo. Ventilazione naturale e forzata. I ventilatori. La ventilazione secondaria. *Educazione delle acque.* Il regime idrologico del sotterraneo. Difesa attiva e passiva dalle acque. I mezzi di educazione. Impianti principali e secondari. *Servizi vari e sicurezza.* Illuminazione del sotterraneo. Norme di sicurezza per ambienti grisutosi o per ambienti a polveri infiammabili. Impianti di sicurezza ed installazioni di soccorso

*Testi consigliati:*

Dispense redatte dal Docente.

Le *esercitazioni* forniscono i principali elementi di calcolo per il dimensionamento di alcuni impianti illustrati nel corso di lezioni. Completano la preparazione alcune visite a cantieri della zona.

*Propedeuticità consigliata:* Arte mineraria.

*Esame orale,* con richiami ad applicazioni pratiche.

*Tesi di laurea:* indirizzo applicativo.

690

## **MECCANICA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI**

Docente: **Giovanni Brighenti** prof. ord. (inc.)

Scopo del corso è fornire le principali cognizioni sul fenomeno del moto dei fluidi nei mezzi porosi nonché sulle caratteristiche dei fluidi e delle rocce di giacimento e introdurre al calcolo delle riserve di idrocarburi ed alla conoscenza delle principali tecniche per la loro coltivazione.

### *Programma*

La classificazione dei giacimenti di idrocarburi in rapporto alle energie di produzione. I meccanismi di drenaggio. La nomenclatura e le unità di misura nella tecnica dei giacimenti di gas e di petrolio. Le proprietà fisiche delle rocce serbatoio. La porosità, la saturazione di fluido, la permeabilità assoluta ed effettiva. Cenni sui metodi di misura. Relazioni fra le proprietà fisiche delle rocce e il comportamento del giacimento. Bagnabilità e sua importanza ai fini del ricupero. Le proprietà fisiche dei fluidi di giacimento. Il comportamento termodinamico del greggio; i fattori di volume, la solubilità di gas, la viscosità. La determinazione sperimentale delle caratteristiche fisiche dei fluidi di giacimento. La cella PVT. Classificazione termodinamica dei giacimenti. I giacimenti di gas secco e di gas condensati. Calcolo del gas immagazzinato col metodo volumetrico. Il fattore di ricupero e sua determinazione. Il metodo dinamico e l'equazione del bilancio di massa.

La valutazione dell'ingresso d'acqua nei giacimenti di idrocarburi: formule empiriche, di Schilthius e Hurst. Controllo e scelta delle formule in base ai dati di produzione. Calcolo del gas inizialmente in posto e previsioni di produzione per i giacimenti di gas. Criteri di coltivazione dei giacimenti di gas a condensati con condensazione retrograda in strato. Stima degli idrocarburi in posto. Iniezione di gas secco. I giacimenti di petrolio. Giacimenti di petrolio sottosaturato; calcolo dell'olio immagazzinato e stima del ricupero. Giacimenti a spinta di gas disciolto, a cappa gassosa, a spinta d'acqua. Equazioni fondamentali; rapporto gas-olio, rapporto acqua-olio. Previsioni di produzione. Applicazioni e limitazioni dell'equazione del bilancio di massa. Richiami sulla meccanica dei fluidi nei mezzi porosi permeabili. Formule per il calcolo delle portate dei pozzi di olio e di gas. Le equazioni dei fluidi poco comprimibili: l'integrale di Van Everdingen e Hurst con applicazioni al calcolo pratico dell'ingresso d'acqua nei giacimenti. Questioni relative alle superfici di separazione gas-olio e acqua-olio; coni di gas e di acqua; portate critiche. La simulazione nello studio dei giacimenti di idrocarburi. Il concetto di modello: modelli analogici e numerici. Processi di ricupero assistito. Lo spiazzamento degli idrocarburi. Questioni relative alla stabilità delle superfici di separazio-

ne delle fasi fluide. La deformazione delle interfacce fra fluidi di uguali densità e mobilità. Disposizione dei pozzi per la coltivazione secondaria ed efficienza di spiazzamento. Spiazzamento per  $M=1$  e progetti di ricupero secondario. Il moto bifasico secondo Buckley e Leverett: velocità di spostamento delle saturazioni; dinamica di formazione del fronte di spiazzamento e calcolo della corrispondente saturazione. Tempo di spiazzamento e distribuzione dell'olio residuo. Prove di strato.

*Testi consigliati:*

- 1) B. POGGI, *Lezioni di meccanica dei giacimenti di idrocarburi* (fotocopia).
- 2) ISTITUTO FRANCESE DEL PETROLIO, *Course de Production*, ed. Technip.
- 3) DAKE, *Fundamentals of Reservoir Engineering*, Elsevier.
- 4) CRICHLAW, *Modern Reservoir Engineering - A Simulation Approach*, Prentice - Hall.

Durante il corso vengono svolte *esercitazioni* di calcolo e di laboratorio.

*Esami orali.*

Indirizzo delle *Tesi di Laurea*: indirizzo teorico e progettuale.

4114

**MECCANICA DELLE ROCCE**

Docente: **Amos Paretini** prof. inc. stab.

*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 ciclo 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 elastico – Studio dell'equilibrio al limite.

6 – Applicazione della meccanica delle rocce allo studio dei problemi di carattere regionale – Fenomeni di subsidenza – Cartografia geomeccanica.

7 – Applicazione della meccanica delle rocce allo studio di problemi locali – Stabilità degli scavi in sotterraneo, stabilità degli scavi a cielo aperto e dei pendii naturali.

8 – Consolidamento delle rocce e dei terreni – La tecnica delle iniezioni – 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 roccia e terreno.

*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. inc. stab.

*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 delle rocce (eruttivo, sedimentario, metamorfico).

C) *Mineralogia e Petrografia descrittive*. I minerali di interesse industriale e i mi-

nerali delle rocce. Caratteri di giacitura, tessitura, struttura e composizione delle rocce eruttive, sedimentarie e metamorfiche. Schemi essenziali di classificazione delle rocce. Associazioni di rocce e schemi evolutivi dei caratteri petrochimici. Province petrografiche.

D) *Aspetti applicativi della Petrografia.* Caratterizzazione delle rocce in funzione delle loro proprietà fisiche e tecniche. Relazioni fra proprietà fisiche e composizione. Problemi di idoneità e caratterizzazione delle rocce utilizzabili come materie prime per specifici prodotti industriali.

731

### MISURE E CONTROLLI NEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI

Docente: Gian Luigi Chierici prof. inc. stab.

#### *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 fluidodinamica 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'area 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 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. straord.

*Finalità del corso:*

Il corso si propone di impartire agli allievi ingegneri minerari nozioni di base sulle tecniche e sulle macchine che si impiegano sia per il trattamento di sostanze solide granulari ai fini della loro comminazione e classificazione granulometrica, sia per l'arricchimento di grezzi minerali, nonché sulle modalità di chiarificazione delle acque di rifiuto; esso perciò si rivolge principalmente agli ingegneri minerari, ma possono trarne utili insegnamenti anche gli allievi ingegneri chimici, civili e meccanici.

*Programma*

Richiamate sinteticamente le caratteristiche dei materiali grezzi da trattare (minerali costituenti, tenore dei minerali utili, composizione granulometrica) sono schematizzati i principali parametri che definiscono un processo di preparazione.

Vengono quindi studiati i metodi e le apparecchiature che si impiegano per il trattamento delle sostanze solide in grani allo scopo di predisporle in classi granulometriche: vagliatura, frantumazione, triturazione e macinazione.

Successivamente sono studiati i principi e descritti i principali apparecchi per l'arricchimento delle sostanze minerali utili: separazione per densità in mezzo fluido, separazione magnetica, separazione elettrostatica, flottazione, metodi speciali

di separazione.

Infine sono analizzate le operazioni accessorie di filtrazione dei prodotti trattati in acqua od in aria, di essiccazione ed è studiato il trattamento delle acque di rifiuto per la loro chiarificazione, con riferimento alle vigenti norme di legge.

Il corso si chiude con una sintesi dei criteri generali di progettazione degli impianti e delle norme di sicurezza e protezione.

*Testi consigliati:*

*Appunti delle lezioni*, riveduti dal Docente.

*Enciclopedia della Ingegneria*, Isedi: Volume VIII, parte 55<sup>a</sup>, 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. inc.

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 spon-

tanea, pompe ad astine, gas-lift, cenni su altri tipi di pompe. La manutenzione del pozzo: operazione di stimolazione per acidificazione e fratturazione, dissabbiamento, cementazione secondaria, ecc. Trattamenti in campo del gas: caratteristiche del gas naturale, gli idrati e la loro prevenzione, impianti di disidratazione, cenni sulla desolfurazione e sul degasolinaggio. Trattamento in campo dell'olio: caratteristiche dei greggi, impianti di stabilizzazione, emulsioni e loro trattamento, cenni sulla desalificazione. Impianto di iniezione per il recupero secondario. La produzione in mare. Il trasporto degli idrocarburi, aspetti tecnici ed economici. Il moto dell'olio e del gas nelle condotte: reologia dei greggi. Il trasporto dei greggi molto viscosi. Il moto polifasico nelle condotte. Le condotte: calcolo statico, la corrosione, la protezione catodica, il rivestimento, gli inibitori. Stazioni di compressione: pompe e compressori, dispositivi di misura, controllo e regolazione. Principi di progettazione: rete di collegamento dei pozzi. Oleodotti e metanodotti propriamente detti, scelta del tracciato, dimensionamento in base a criteri economici. Organizzazione dei lavori. Messa in opera delle condotte, organizzazione del cantiere. Attraversamento dei punti speciali. Il collaudo. Problemi di gestione. Cenni sullo stoccaggio sotterraneo e sulla liquefazione del gas naturale.

*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.

1019

**TECNICA DEI SONDAGGI**

Docente: **Giovanni Brighenti** prof. ord.

*Finalità del corso*: fornire le conoscenze fondamentali sulle principali tecniche di perforazione. Fornire le cognizioni necessarie per la progettazione dei pozzi per idrocarburi, per acqua e per vapori endogeni. Indicare le tecniche più opportune per l'esecuzione dei sondaggi stratigrafici e geotecnici.

*Programma*

Metodi di perforazione

- Perforazione a percussione: descrizione dei principali metodi e relativi impianti.
- Perforazione a rotazione — 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.

- Criteri di progettazione dei pozzi per idrocarburi.
  - Criteri di progettazione e di messa in produzione dei pozzi per acqua.
  - Sondaggi stratigrafici e geotecnici — Tecniche per il prelievo dei campioni — Classi di qualità dei campioni — Misure e prove in pozzo.
- Prove penetrometriche e pressiometriche.

Durante il corso vengono svolte esercitazioni di calcolo, di laboratorio e visite a impianti.

#### *Testi consigliati*

CRAFT, HOLDEN, GRAVES, *Well Design: Drilling and Production*, Prentice Hall.  
 GATLIN, *Petroleum Engineering: Drilling and Well Completion*, Prentice Hall  
 Pubblicazioni dell'Istituto Francese del Petrolio, ed. Technip.  
 CAMBEFORT, *Forages et Sondages*, ed. Eyrolles.  
 PIMENTA, *Le captage des eaux souterraines*, ed. Eyrolles.  
 MABILLOT, *Le forage d'eau*, ed. Crep Johnson.  
 TORNAGHI, *Indagini geognostiche*, ed. Rodio.  
 Associazione Geotecnica Italiana — Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.

#### *Esami orali.*

*Propedeuticità consigliate:* Scienza delle costruzioni, Idraulica, Geologia.

*Tesi di laurea:* teoriche, sperimentali, di progetto.

6804

### **TOPOGRAFIA**

Docente: **Lamberto Pieri** 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'eclimetro di miniera. Collegamento del rilievo in superficie con i rilievi sotterranei. Orientamento in miniera con l'uso del teodolite giroscopico. Confronto tra i vari metodi di orientamento del rilievo in miniera. Altimetria sotterranea. Livellazione trigonometrica e geometrica. Supporti e mire particolari. Livellazione idrostatica e sua utilizzazione in miniera. Dispositivi ed accorgimenti particolari per seguire le deformazioni delle gallerie nel tempo. Applicazione della livellazione per studiare l'abbassamento del suolo in conseguenza di lavori in miniera. Rilievi di profili nelle gallerie. Materializzazione di punti di profili. Tracciamento di gallerie.

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 foglie. Caratteristiche fotografiche dei principali tipi litologici: rocce sedimentarie, argille e marne. Calcari e dolomie. Evaporiti. Rocce eruttive. Rocce metamorfiche. Simboli per le carte fotogeologiche. Geostatica e sua utilizzazione nella prospezione mineraria.

#### *Testi consigliati:*

Dispense del corso (in distribuzione presso l'Istituto).

P. DORE, *Topografia e geodesia*, Patron, Bologna 1948.

G. INGHILLERI, *Topografia generale*, UTET 1974.

T. SEGUITI, *Topografia di miniera*, ed. Hoepli.

AMADESI, *Fotointerpretazione e aerofotogrammetria*, Pitagora, Bologna, 1975.

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA 2006**

Programmi delle materie di insegnamento.

1352

**ANALISI MATEMATICA I**

Docente: **Bianca Rosa Bellomo** prof. inc.

Le finalità del corso sono essenzialmente due:

- a) fornire allo studente alcuni strumenti matematici necessari per i corsi successivi;
- b) insegnare un metodo di studio della matematica, affinché lo studente sia in grado di apprendere facilmente le nozioni matematiche che gli saranno necessarie e che non sono svolte nel corso.

*Programma*

Elementi di teoria degli insiemi. Sistema di numeri reali. Numeri complessi. Successioni reali. Successioni complesse. Funzioni reali di una variabile reale: limiti, continuità, derivabilità. Teoremi fondamentali del calcolo differenziale. Formula di Taylor. Massimi e minimi relativi. Teoria dell'integrazione per le funzioni di una variabile. Integrazione delle funzioni elementari. Serie numeriche e integrali generalizzati. Serie di funzioni.

*Testi consigliati*

CECCONI, STAMPACCHIA, *Analisi matematica*, I vol., Funzioni di una variabile, Liguori.

CECCONI, PICCININI, STAMPACCHIA, *Esercizi e problemi di Analisi matematica*, Liguori.

LANCONELLI, OBRECHT, *Esercizi di Analisi matematica I*, Pitagora.

E. GIUSTI, *Analisi matematica I parte*, Pellegrini.

1356

**ANALISI MATEMATICA II**Docente: **Luigi Cerofolini** prof. inc. stab.*Finalità del Corso*

Il Corso si propone di presentare, utilizzando gli strumenti introdotti nei Corsi di Analisi matematica I e di Geometria Analitica, alcuni argomenti matematici particolarmente importanti per le Scienze applicate.

*Programma*

Misura dei compatti in  $\mathbb{R}^n$ . Prime proprietà della misura. Somme di Riemann. Teorema di Riemann e definizione di integrale. Interpretazione geometrica. Proprietà dell'integrale. Teorema della media. Formule di riduzione per gli integrali multipli. Cambiamento di variabili negli integrali multipli. Coordinate polari nel piano e nello spazio. Cambiamenti lineari di coordinate. Integrali generalizzati. Criteri di convergenza. Integrali per funzioni generalmente continue.

Successioni e serie di funzioni. Convergenza semplice e uniforme. Continuità, derivazione e integrazione del limite. Sviluppabilità in serie. Funzioni analitiche reali. Integrali generalizzati dipendenti da un parametro. Cenno sulla teoria dell'integrazione secondo H. Lebesgue.

Numeri complessi. Successioni e serie complesse. Serie di potenze. Funzioni complesse. Funzioni olomorfe. Derivazione complessa. Equazioni di Cauchy-Riemann. Equazioni di monogenia. Le funzioni elementari nel campo complesso. Identità di Eulero.

Disuguaglianza degli accrescimenti finiti. Teorema dell'inverso locale. Teorema delle funzioni implicite. Teorema del rango. Varietà differenziali. Vettori tangenti e vettori normali ad una varietà. Riferimento mobile di Cartan. Metodo dei moltiplicatori di Lagrange.

Equazioni e sistemi differenziali. Riduzione al primo ordine di un sistema di ordine superiore. Problema di Cauchy: esistenza e unicità. Carattere locale delle soluzioni. Sistemi lineari. Soluzione dei sistemi lineari e coefficienti costanti. Equazioni lineari d'ordine superiore. Soluzione delle equazioni lineari a coefficienti costanti. Spazio delle fasi.

Curve in  $\mathbb{R}^n$ . Parametrazioni. Lunghezza di una curva. Integrale di una funzione esteso ad una curva. Curve orientate. Vettori normali e vettori tangenti ad una curva. Forme differenziali. Condizioni di compatibilità. Forme chiuse e forme esatte. Condizioni di integrabilità. Lemma di Poincare.

Superfici in  $\mathbb{R}^n$ . Parametrazioni. Piano tangente. Area di una superficie. Integrale di una funzione esteso ad una superficie. Superfici orientabili. Orientazione di una superficie. Forme differenziali bilineari. Differenziale esterno. Formula di Stokes. Specializzazione dei risultati al caso del piano e dello spazio. Formule di Gauss-Green, di Gauss-Ostrogradsky e di Stokes-Ampere. Analisi vettoriale nello spazio ordinario.

*Testi consigliati:*

- I. CEROFOLINI, *Calcolo, Corso di Analisi Matematica II p.*, Patron, 1974.  
 H. FLANDERS, *Differential forms with applications to the physical sciences*. Academic Press, 1963.  
 M.H. HIRSCH, S. SMALE, *Differential equations, dynamical system and linear algebra*, Accademic Press, 1974.  
 L.H. LOOMIS, S. STERNBERG, *Advanced Calculus*, Addison Wesley, 1968.

4524

**ANALISI NUMERICA**Docente: **Corrado Corradi** prof. straord. (inc.)*Programma*

1. Elementi di calcolo approssimato.  
Rappresentazioni dei numeri. Aritmetica in virgola mobile. Errori. Propagazione degli errori. Algoritmi. Indici di condizionamento.
2. Sistemi di equazioni lineari.  
Generalità. Metodo di eliminazione di Gauss e sue varianti. Fattorizzazione LU. Fattorizzazione di Cholesky. Norme di matrice e indici di condizionamento. Analisi a posteriori dell'errore. Raffinamento iterativo. Problema lineare dei minimi quadrati. Trasformazioni ortogonali e matrici di Householder. Raffinamento iterativo.
3. Autovalori e autovettori.  
Generalità. Metodo delle potenze. Metodo delle potenze inverse. Metodo di Jacobi per matrici hermitiane. Riduzione a forma quasi triangolare. Metodo QR. Problemi di autovalori generalizzati (cenni).
4. Metodi iterativi per la soluzione di equazioni.  
Generalità. Problemi di punto fisso. Ordine di un procedimento iterativo. Metodo di Newton e sue varianti. Equazioni polinomiali. Sistemi di equazioni. Metodi quasi Newtoniani. Metodi di continuazione.
5. Ottimizzazione.  
Generalità. Algoritmi per funzioni di una variabile. Problemi multidimensionali. Metodi che non richiedono le derivate. Metodo di Hook-Jeeves, di Rosenbrock, di Powell. Metodi che richiedono le derivate. Metodo di Newton e sue varianti. Metodi quasi Newtoniani. Metodi di gradiente coniugato. Problemi di minimi quadrati non lineari. Metodo di Gauss e sue varianti.
6. Interpolazione.  
Interpolazione polinomiale. Formula di Lagrange. Algoritmi di Aitken e di Neville. Rappresentazione del resto. Interpolazione inversa. Interpolazione inversa iterata. Interpolazione mediante spline cubiche. Regolarizzazione di dati sperimentali mediante spline cubiche.

7. Integrazione numerica.  
Generalità. Formule di Newton-Cotes. Formule di Gauss. Estrapolazione al limite.
8. Equazioni differenziali ordinarie.  
Problemi di valori iniziali. Metodi a un passo. Metodi Runge-Kutta. Metodi a molti passi. Metodi predictor-corrector. Stabilità. Problemi di valori ai limiti (cenni).

#### *Testi consigliati*

- G.C. BAROZZI, *Introduzione agli algoritmi dell'algebra lineare*, Zanichelli, 1976.  
 S.D. CONTE, C. DE BOOR, *Elementary Numerical Analysis*, Mc-Graw Hill 1980.  
 G. DAHLQUIST, A. BJORCK, *Numerical Methods*, Prentice-Hall, 1974.  
 G.E. FORSYTHE, et al., *Computer Methods for Mathematical Computations*, Prentice-Hall, 1977.  
 C.E. FROBERG, *Introduction to numerical Analysis*, Addison-Wesley, 1969.  
 J. STOER, R. BURLISCH, *Introduction to Numerical Analysis*, Springer-Verlag, 1980.

1679

### **AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE SANITARIA**

Docente: Gianni Gnudi prof. inc.

Il corso tratta i problemi generali connessi con l'organizzazione e la gestione di un sistema sanitario ed i problemi specifici riguardanti l'automazione di alcuni servizi ospedalieri.

#### *Programma*

##### *Parte prima*

- La legislazione in campo sanitario: la legge ospedaliera, linee di tendenza della riforma sanitaria, il servizio sanitario regionale.
- Modellistica dei servizi sanitari: metodi di analisi e di progetto di strutture sanitarie.
- Gestione automatica dell'informazione clinica: la cartella clinica per archivi automatizzati e caratteristiche dei sistemi per l'archiviazione e la gestione dei dati clinici.

##### *Parte seconda*

- Strumentazione automatizzata: elementi di "hardware" e "software" di un calcolatore di processo ed in particolare del sistema ingresso-uscita. Problemi di interfaccia calcolatore-strumentazione. I convertitori A/D e D/A. Cenni alle caratteristiche dei dischi magnetici a teste fisse e mobili e ai problemi di gestione di questi dispositivi. Cenni alle caratteristiche dei display alfanumerici, dei plotter digitali e digitalizzatori di immagini.
- Elaborazione dei segnali biologici: elementi di filtraggio numerico. Riconosci-

mento di configurazioni. Analisi automatica dell'ECG, EEG e dei pressogrammi. Ricostruzione delle immagini nella tomografia assistita da calcolatore.

- Automazione di alcuni servizi ospedalieri: Laboratorio di cateterismo cardiaco. Unità di terapia intensiva. Laboratorio di analisi cliniche.
- Problemi di diagnosi automatica.

#### *Testi consigliati*

Dispense redatte a cura del docente.

3569

#### **BIOAUTOMATICA**

Docente: **Enzo Belardinelli** prof. ord. (inc.)

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.

3716

#### **CALCOLATORI ELETTRONICI**

Docente: **Maurelio Boari** prof. straord.

#### *Finalità del Corso*

Il corso si propone di introdurre i concetti fondamentali nel campo del soft-

ware 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*

Modalità di gestione di un sistema di calcolo: a lotti (batch), multiprogrammazione, divisione di tempo (time-sharing), tempo reale. Problemi di gestione delle risorse di un sistema di calcolo: definizione delle proprietà e funzioni principali di un Sistema Operativo. Processi e cooperazione: definizione di processo sequenziale, cooperazione tra processi, il nucleo di un sistema a processi, primitive di sincronizzazione e scambio messaggi, problemi di blocco dei processi (deadlock). Linguaggi per l'implementazione di sistemi concorrenti: tipi di dati astratti, monitor. Gestione della memoria: memoria virtuale, tecniche di realizzazione della memoria virtuale. Gestione dei dispositivi di ingresso-uscita: primitive di gestione dell'ingresso-uscita, virtualizzazione delle periferiche, tecniche di utilizzo della memoria a buffer. Gestione dell'unità centrale di elaborazione (C.P.U.): algoritmi per l'assegnazione ai processi della C.P.U. Problemi di protezione delle informazioni in memoria: tecniche hardware e software per la protezione delle informazioni.

Cenni sul problema di gestione delle informazioni e sulla struttura di un File System.

### *Testi consigliati:*

M. BOARI, *Tecniche di programmazione - Programmazione concorrente*, Pàtron, 1979.

A.N. HABERMANN, *Introduction to Operating System Design*, S.R.A. (Science Research Associates, Inc.) Chicago 1977.

*Propedeuticità consigliate:* Si ritiene indispensabile aver superato l'esame di Sistemi per l'elaborazione delle informazioni. E' preferibile aver superato l'esame di Linguaggi di programmazione.

6464

### **CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE**

Docenti: Paolo Tiberio prof. straord. (Elettronici A-K)  
Paolo Toth prof. straord. (inc.) (Elettronici L-Z)

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 elaboratori elettronici.

### *Programma*

*Analisi del problema e progetto degli algoritmi.*

Metodi di analisi di un problema. Proprietà di un problema perchè sia con-

veniente la soluzione su un calcolatore: dimensione, ripetitività, precisione. Definizione di algoritmo e sue proprietà. Equivalenza degli algoritmi. Tipi di algoritmi: enumerazione, calcolo diretto, prova e riprova, simulazione.

*Definizione di un linguaggio per la rappresentazione degli algoritmi.*

Scelta del linguaggio. Linguaggio a diagrammi di flusso. Definizione degli elementi di base del linguaggio: alfabeto, costanti, variabili, operatori, espressioni, istruzioni. Diversi tipi di istruzione (assegnazione, salto incondizionato, salto condizionato, ciclo, trasmissione dati). Procedure.

*Descrizione funzionale di un calcolatore elettronico.*

Processo di elaborazione automatico. Funzioni di ingresso-uscita, memorizzazione, calcolo, controllo. Linguaggio macchina. Concetto di programma. Esempi di algoritmi risolti in linguaggio macchina. Rappresentazione informazioni sul calcolatore: caratteri numerici, alfabetici e speciali. Sistemi di misurazione decimale, binario, ottale. Problemi di arrotondamento e di precisione.

*Linguaggi di programmazione.*

Considerazioni generali sui linguaggi di programmazione e loro classificazione. Il linguaggio FORTRAN.

*Struttura, efficienza e correttezza dei programmi.*

Problemi di ricerca, identificazione, correzione errori. Classificazione dei tipi di errori logici più comuni. Cenni sul problema della correttezza a priori degli algoritmi e elementi di programmazione strutturata.

*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. Zeri di un polinomio. Metodi di interpolazione e minimi quadrati. Calcolo di integrali definiti. Equazioni differenziali. Problemi di errore.

*Strutture dati e algoritmi non numerici.*

Vettori e matrici. Tabelle. Stringhe e liste. Code e pile. Matrici sparse. Alberi e grafi. Tecniche di accesso a tabelle di dati. Esempi di algoritmi non numerici: elaborazioni su insiemi, grafi, alberi.

*Testi consigliati:*

Dispense distribuite dalla Libreria Pitagora.

Gli *esami* constano di una prova scritta sui diagrammi di flusso 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.

*Indirizzo delle Tesi di laurea:*

Tecniche di programmazione (strutturazione dei programmi); definizione di algoritmi; strutture di dati. Linguaggi di programmazione.

5698

**CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI I**Docenti: **Giancarlo Corazza** prof. ord. (Elettronici A-K)**Carlo Giacomo Sameda** prof. ord. (Elettronici L-Z)*Finalità del corso:*

Introduzione ai fenomeni fisici che sono alla base dei sistemi di telecomunicazioni e alla loro descrizione matematica.

*Programma**Parte I (Campi elettromagnetici):*

Equazioni di Maxwell, teorema di Poynting, teorema di unicità per vettori istantanei e per vettori complessi. Equazioni delle onde e di Helmholtz.

Onde piane.

Potenziali elettromagnetici. Espressioni generali in funzione delle correnti impresse e delle condizioni al contorno.

Sorgenti elementari. Momento equivalente di una sorgente estesa.

Grandezze caratteristiche della radiazione.

Schiere d'antenne: generalità; schiere uniformi.

Onde guidate: impostazione del problema; modi TE, TM, TEM; guide d'onda rettangolari.

*Parte II (Circuiti):*

Linee di trasmissione; carta di Smith; adattatori d'impedenza.

Analisi delle reti lineari: n-porte, loro descrizione e connessioni; reti elettriche a n-porte; matrici topologiche; risoluzione delle reti; frequenze proprie e stabilità.

Analisi di bipoli passivi; proprietà generali delle funzioni riflettanza e 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 matematica – Elettronica applicata I.

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

5699

**CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI II**Docente: **Vittorio Rizzoli** prof. straordinario.

Il corso si propone di introdurre alla conoscenza e alle applicazioni dei circuiti integrati per microonde, che costituiscono gli elementi fondamentali dei moderni sistemi di Telecomunicazioni realizzati a stato solido.

*Programma*

Generalità sui circuiti integrati a microonde. Circuiti a costanti concentrate e distribuite. Propagazione nelle strutture cilindriche. Modi e loro classificazione. Carattere circuitale della propagazione TEM. Circuito equivalente e modello capacitivo. Metodi di calcolo del modello capacitivo. Linee triplate e linee coplanari aperte e schermate. Propagazione quasi-TEM. Strutture planari con perdite e con dielettrico non omogeneo. Modi quasi-TEM delle linee a più fili non omogenee. Modi pari e dispari nelle linee simmetriche a due fili. Microstriscie semplici e accoppiate e loro calcolo. Limitazioni tecnologiche. Dispersione nella microstriscia. Discontinuità nelle strutture cilindriche e loro circuiti equivalenti. Metodi statici e dinamici per il calcolo dei circuiti equivalenti.

Metodo generale di analisi di reti lineari integrate di geometria nota. Algoritmi di ottimizzazione e progetto di reti lineari mediante analisi ripetute. Analisi di reti non lineari in regime stazionario. Progetto di reti non lineari. Esempi di applicazioni: amplificatori lineari a basso rumore; oscillatori a microonde; divisori parametrici di frequenza.

La matrice di diffusione: suo significato e proprietà fondamentali. Concetto di normalizzazione. Condizioni di passività e di assenza di perdite. Connessione di reti multiporta caratterizzate mediante la matrice di diffusione. Misura della matrice di diffusione a microonde. L'analizzatore di reti e il suo schema funzionale. Problema e metodi di calibrazione. Misura a risonanza delle costanti di propagazione di linee planari semplici e accoppiate. Misura a risonanza di circuiti equivalenti di discontinuità.

Accoppiatori direzionali e loro impiego nei sottosistemi a microonde. Progetto e realizzazione di accoppiatori direzionali a linee accoppiate in dielettrico omogeneo e non. Limitazioni tecnologiche e loro superamento. Accoppiatori interdigitati e accoppiatori a diramazione.

Filtri passivi ideali: generalità sul metodo di sintesi alla Darlington. Filtri a costanti concentrate: problema di approssimazione e prototipi passa-basso di Butterworth e Chebyshev. Sintesi in cascata e concetto di ridondanza. Sezioni di zero. Sintesi del filtro passa-basso a costanti concentrate. Trasformazioni di frequenza. Effetti delle perdite e metodi di progetto numerico. Filtri con invertitori di immittenza e loro realizzazione. Deduzione di topologie a costanti distribuite dai prototipi a costanti concentrate. Filtri a stubs, ad accoppiamento parallelo e interdigitati. Cenni sui metodi di sintesi dei filtri commensurabili a costanti distribuite.

*Testi consigliati*

R.E. COLLIN, *Foundations for microwave Engineering*, McGraw Hill.

*Parallel coupled line, directional couplers, microwave filters using parallel coupled lines*, Artech House Edited by Leo Young.

*Propedeuticità consigliate*: Complementi di matematiche, Campi elettromagnetici e circuiti I.

*Tesi di Laurea*: Applicazioni dell'elaboratore elettronico (teoriche); misure sperimentali.

1361

**CHIMICA**

Docente: **Flavio Zignani** prof. straord.

Il corso si propone: a) inquadrare in modo del tutto generale l'intero campo delle proprietà microscopiche dei sistemi chiusi analizzando la struttura delle molecole, degli atomi e dei nuclei atomici; b) coordinare l'insieme delle proprietà macroscopiche dei sistemi chimici impiegando la trattazione termodinamica, e facendo uso, ove possibile, delle conoscenze sulla 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.

*Programma**Parte I: Struttura macroscopica e microscopica dei sistemi chimici.*

La struttura atomica della materia. Struttura del nucleo e radioattività: cenni sulla fissione e fusione nucleare. Struttura elettronica degli atomi. Distribuzione degli elettroni negli atomi e sistema periodico degli elementi. Legame chimico: a) legame ionico; b) legame covalente; c) legame metallico; d) legami deboli fra le molecole: forze di Van der Waals, legame a idrogeno.

*Parte II: I tre stati di aggregazione della materia.*

Stato gassoso. Stato liquido e soluzioni. Stato solido: struttura dei cristalli e reticoli cristallini; cristalli ionici: struttura del cloruro di sodio, del cloruro di cesio, della fluorite, della blenda; cristalli covalenti: struttura del diamante, della grafite; cristalli molecolari; cristalli metallici: struttura cubica a facce centrate, a corpo centrato, esagonale compatta. Cenni sui difetti reticolari.

*Parte III: Reazioni chimiche e equilibrio chimico.*

Reazioni chimiche: calcoli stechiometrici. 1° Principio della termodinamica e termochimica. 2° Principio della termodinamica ed equilibrio chimico. 3° Principio della termodinamica e calcolo dell'entropia assoluta. Equilibri ionici in soluzione acquosa. Elettrochimica. Equilibri nei sistemi polifasici. Cinetica delle reazioni chimiche.

*Testi consigliati:*

P. CHIORBOLI, *Fondamenti di Chimica*, Ed. UTET.

R.H. MAHAN, *Chimica generale e Inorganica*, Ed. Ambrosiana.

*Propedeuticità consigliate:*

E' consigliata la frequenza di Analisi matematica I e Fisica I.

6465

**CHIMICA FISICA** (per Elettronici)

Docente: **Agostino Desalvo** prof. inc. stab.

Il corso si propone di fornire le nozioni chimico-fisiche di base necessarie per approfondire lo studio dei processi visti nel corso di Microelettronica e di approfondire dal punto di vista fisico le nozioni sulla struttura e proprietà dei solidi introdotte nel corso di Elettronica Applicata III.

*Programma*

1) Nozioni fondamentali di termodinamica e di meccanica statistica.

I principio della termodinamica: energia interna, entalpia, calore specifico. II principio della termodinamica: entropia, energia libera. Sistemi a composizione variabile: potenziale chimico. III principio della termodinamica. Energia libera standard di reazione ed equilibrio chimico. Interpretazione statistica dell'entropia: distribuzioni statistiche di Maxwell-Boltzmann, di Bose-Einstein, di Fermi-Dirac. Funzioni termodinamiche di un gas perfetto.

2) Struttura e proprietà dei solidi.

Reticoli cristallini, reticolo reciproco, zone di Brillouin, fattore di struttura. Vibrazioni reticolari nei cristalli. Calore specifico: modello di Debye, funzioni termodinamiche e equazione di stato dei solidi. Modello dell'elettrone libero nei metalli. Teoria delle bande nei solidi: struttura elettronica dei semiconduttori. Statistica degli elettroni in un semiconduttore: Proprietà di trasporto del gas di elettroni: equazione di Boltzmann, conducibilità elettrica e termica, potere termoelettrico, effetto Hall. Diffusione dei portatori e giunzioni p-n.

3) Termodinamica dei solidi e difetti reticolari.

Soluzioni solide e variazione dell'energia libera con la composizione: soluzioni ideali, soluzioni non ideali e coefficienti di attività, soluzioni regolari, transizioni ordine-disordine. Principali diagrammi di stato in relazione alle curve energia libera-composizione. Difetti puntiformi nei solidi: vacanze e interstiziali nei metalli, interazione tra difetti atomici ed elettronici nei semiconduttori, difetti puntiformi nei cristalli ionici. Processi di diffusione nei solidi.

*Testi consigliati*

Sono disponibili appunti informali del corso redatti a cura del docente.

*Esame orale.*

*Propedeuticità consigliate:* Elettronica Applicata III.

189

**COMPLEMENTI DI MATEMATICHE**

Docenti: **Franca Tesi in Rossi** prof. inc. stab. (Elettronici A-K)

**Giulio Cesare Barozzi** prof. ord. (Elettronici L-Z)

*Finalità del corso*

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

*Programma**Funzioni analitiche*

Derivazione in campo complesso. Condizioni di Cauchy-Riemann. Interpretazione geometrica dell'analiticità. Punti singolari isolati e no. Integrazione in campo complesso. Teorema di Cauchy. Formula integrale di Cauchy. Teorema di Morera. Serie di Taylor. Zeri semplici e multipli. Serie di Laurent. Singolarità all'infinito. Teorema di Liouville. Sviluppo in serie valido in tutto il piano complesso. Residuo di una funzione analitica. Teorema dei residui. Prolungamento analitico. Definizione di funzione analitica secondo Weierstrass. Funzioni poldrome. Punti di diramazione e determinazioni. Superficie di Riemann. Teorema dell'indice logaritmico.

*Richiami di Algebra lineare*

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

*Serie di Fourier*

Approssimazione delle funzioni reali. Serie di F. Condizioni di Dirichlet e teorema di convergenza. Spettro di fase e di ampiezza. Serie di F. in termini complessi. Integrale di F. Trasformazioni integrali: trasformata di F. e di Laplace e loro connessione. L.T. della derivata e dell'integrale. Metodi di inversione della L.T. Teorema del valor iniziale e del valor finale. Applicazione della L.T. alla risoluzione delle eq. differenziali lineari a coeff. costanti. L.T. delle funzioni fondamentali. Teorema del prodtto integrale. Antitrasformazione delle funzioni razionali. Applicazione della L.T. allo studio di un sistema fisico.

*Equazioni differenziali alle derivate parziali*

Eq. differenziali del 1 ordine. Problema di Cauchy. Eq. diff. del 1 ordine lineari e omogenee. Eq. complete. eq. diff. del 2 ordine e 2 variabili. Il problema di Cauchy. Varietà caratteristiche e loro significato. Classificazione delle eq. diff. in base alle caratteristiche. Forme canoniche. Integrazione con i metodi di separazione delle variabili e con la L.T. Risoluzione delle eq. delle vibrazioni elastiche, di propagazione del calore e di Laplace. Cenno alle eq. di Bessel.

*Testi consigliati*

E. DE CASTRO, *Complementi di Analisi Matematica*, Zanichelli.

C.R. WYLIE, *Advanced engineerig mathematics*, McGraw Hill

A. GHIZZETTI, L. MARCHETTI, A. OSSICINI, *Lezioni di complementi di matematica*, V. Veschi (Roma)

M.R. SPIEGEL, *Advanced mathematics for engineers and scientists*, McGraw Hill

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

Oltre agli appelli si effettuano appelli mensili.

*Propedeuticità consigliata*: Calcolo elettronico.

4179

**COMUNICAZIONI ELETTRICHE I**

Docenti: **Leonardo Calandrino** prof. ord. (Elettronici A-K)

**Gianni Immovilli** prof. ord. (Elettronici L-Z)

*Finalità del corso*

Il corso si propone di fornire i criteri di progetto dei collegamenti per telecomunicazioni mediante lo studio sistemistico dei collegamenti stessi.

*Programma**Analisi dei segnali. Il rumore di fondo.*

Analisi dei segnali deterministici ed applicazione allo studio dei sistemi fisici normali. Campionamento. I processi stocastici. Stazionarietà. Ergodicità. Spettro di potenza di una funzione aleatoria. Natura dei segnali che più interessano le Telecomunicazioni. Segnali multicanale (FDM e TDM). Il rumore di fondo. Principali cause di rumore nei circuiti elettronici. Temperatura equivalente di rumore di un apparato lineare e di una sorgente di segnale.

*Sistemi di trasmissione in banda base.*

Le linee di trasmissione. Trasmissioni analogiche e numeriche su linea. Qualità del collegamento (rapporto segnale/rumore o probabilità di errore). Progetto di massima di collegamenti in banda base.

*Elementi di teoria della modulazione.*

Oscillazioni sinusoidali modulate in ampiezza ed in angolo. Proprietà spettrali, generazione, demodulazione.

*Sistemi di trasmissione passa-banda.*

Trasmissione di oscillazioni modulate su canali passa-banda. Radiodiffusione. Ponti radio analogici e digitali. Rapporto segnale/rumore o probabilità di errore nei vari sistemi di modulazione. Progetto di massima di radiocollegamenti.

*Elementi di teoria dell'informazione.*

Entropia di una sorgente di informazione discreta. Il teorema fondamentale sulla codificazione. Capacità di un canale discreto. Entropia di una sorgente di informazione continua. Capacità di un canale continuo. La formula di Hartley e Shannon.

*Esercitazioni* in aula ed in laboratorio; queste ultime si svolgono congiuntamente a quelle di Elettronica applicata I, la loro frequenza è facoltativa e gli studenti interessati sono tenuti a iscriversi presso l'Istituto di Elettronica entro il 10 novembre.

*Testi consigliati:*

E. DE CASTRO, *Fondamenti di Comunicazioni elettriche*, Zanichelli, Bologna.

Esami orali.

*Propedeuticità consigliate:* Complementi di matematiche, Elettrotecnica I, Elettronica applicata I.

5700

**COMUNICAZIONI ELETTRICHE II**

Docente: Giorgio Corazza prof. inc. stab.

*Finalità del corso*

Il corso si propone di fornire i criteri di dimensionamento della rete di telecomunicazioni utilizzando le varie tecniche di commutazione, segnalazione e trasmissione.

*Programma**Rete di telecomunicazioni*

Funzioni svolte dalla rete di telecomunicazioni, servizi offerti. Integrazione dei servizi.

Dimensioni della rete, del mercato e dell'utenza. Conseguenze tecnico-economiche.

Organismi internazionali di coordinamento: ruolo dell'UIT e dei suoi Comitati consultivi. Piani di trasmissione, commutazione, segnalazione e numerazione. Piano regolatore telefonico nazionale.

*Elementi di teoria del traffico*

Grandezze che caratterizzano il traffico. Processo del traffico. Catene di Markov. Sistemi di code. Dimensionamento di sistemi soggetti a traffico telefonico. Formule B e C di Erlang. Traffico di trabocco.

*Elementi di commutazione*

Struttura di un centro di commutazione: funzioni di connessione di controllo e di segnalazione. Servizi offerti.

Commutazione a divisione di spazio e sua evoluzione: centrali manuali, centrali elettromeccaniche, centrali controllate elettronicamente. Sistemi di segnalazione associata al circuito.

Commutazione elettronica numerica: reti di connessione e divisione di tempo PAM e PCM. Segnalazione a canale comune.

Commutazione di messaggio e di pacchetto.

Rete integrata nei servizi e nelle tecniche.

*Tecniche di trasmissione*

Mezzi trasmissivi e loro impiego ai vari livelli gerarchici della rete. Trasmissione a due fili e a quattro fili.

Sistemi di trasmissione analogici. Segnali FDM e loro gerarchia. Rumore di intermodulazione. Progetto di collegamenti su linea e su ponte radio.

Sistemi di trasmissione numerici. Gerarchia numerica. Progetto di collegamenti su linea e su ponte radio.

*Testi consigliati:*

Appunti tratti dalle lezioni.

E. DE CASTRO, *Fondamenti di comunicazioni elettriche*, Zanichelli, Bologna.

*Esami orali.*

*Esercitazioni in aula.*

*Propedeuticità consigliate:* Comunicazioni elettriche I, Elettronica applicata II (già Tecnica degli impulsi), Reti logiche.

3694

**CONTROLLI AUTOMATICI I**

Docenti: **Eugenio Sarti** prof. ord. (Elettronici A-K)

**Enzo Belardinelli** prof. ord. (Elettronici L-Z)

*Finalità del corso*

Fornire agli studenti i metodi di progetto dei sistemi di controllo, inquadrati nei principi e concetti della teoria dei sistemi.

*Programma*

*Matrici e funzioni di trasferimento* — struttura, realizzazione, stabilità: metodo di Routh-Hurwitz.

*Analisi delle risposte modali* — Dipendenza dagli autovalori. Indagine sulla posizione degli autovalori: luogo delle radici.

*Analisi nel dominio delle frequenze* — Risposta frequenziale. Analisi della stabilità: criterio di Nyquist. Legame fra le risposte nel dominio dei tempi e delle frequenze.

*Sintesi dei regolatori con retroazione dallo stato* — Osservazione dello stato. Assegnazione degli autovalori. Controllo integrale.

*Metodi di sintesi nel dominio delle frequenze* — Reti correttive e regolatori standard.

*Testi consigliati:*

E. BELARDINELLI, *Controlli Automatici*, Ed. Pitagora, Bologna.

Appunti integrativi distribuiti dai docenti.

*Esame*: orale, eventualmente preceduto da prova scritta preliminare, da farsi nello stesso giorno dell'orale.

*Esercitazioni*: in aula su componenti ed esempi di progetto.

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

3695

**CONTROLLI AUTOMATICI II**

Docente: **Gianni Bertoni** prof. ord.

*Finalità del corso*

Partendo dalle nozioni di base acquisite nel corso di "Controlli automatici" e di "Teoria dei sistemi" il corso affronta il problema generale della sintesi dei sistemi di controllo complessi sia nel caso in cui gli ingressi si possano considerare di tipo deterministico e le uscite sostanzialmente prive di rumore sia nel caso in cui tali grandezze abbiano anche una componente non trascurabile di tipo stocastico

*Programma*

1 - Il problema della stima asintotica dello stato; teoria generale dell'osservatore identità; osservatore identità generalizzato; osservatori di ordine ridotto.

2 - L'assegnamento dei poli; assegnabilità dei poli e controllabilità e/o osservabilità; assegnabilità dei poli per sistemi a  $r$  ingressi ed  $m$  uscite; proprietà di un

sistema chiuso in retroazione attraverso il suo osservatore.

3 - Il controllo ottimo in retroazione: controllori, regolatori, controllo delle perturbazioni.

4 - Applicazioni del controllo ottimo in retroazione; il luogo quadratico delle radici; l'insegnamento del modello.

5 - La sintesi dei sistemi di controllo con ingressi aleatori; modelli matematici di processi stocastici; il problema della stima ottima; il filtro di Kalman.

#### *Testi consigliati*

G. BERTONI, S. BEGHELLI, G. CAPITANI, M. TIBALDI, *Teoria e tecnica della regolazione automatica.*

L'esame consiste nello svolgimento di un esercizio e domande sulla linea logica dei procedimenti illustrati a lezione (è ammesso aiutarsi col testo per le formule più complesse che si devono richiamare).

Le *esercitazioni* sono inserite senza soluzione di continuità durante lo svolgimento della parte teorica a cui si riferiscono.

*Propedeuticità consigliate:* Teoria dei sistemi, Controlli automatici I.

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.

## Programma

La materia trattata può essere suddivisa in 4 sezioni fondamentali: Modellistica ed identificazione, Ruolo e caratteristiche del calcolatore di processo, Algoritmi e tecniche di controllo; Casi di applicazione.

### Parte I: *Modellistica ed 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.

### Parte II: *Ruolo e Caratteristiche del Calcolatore di Processo.*

Controllo digitale diretto. Controllo di supervisione. Controllo gerarchico: Parametri caratteristici che influenzano le prestazioni di un calcolatore. Strumentazione di interfaccia con il processo. Il sistema delle interruzioni. Cenni ai sistemi operativi in tempo reale.

### Parte III: *Algoritmi e Tecniche di Controllo.*

Algoritmi di controllo standard basati su ipotesi semplificative del modello del processo quali PID, Deadbeat, ecc. e tecniche per la loro calibrazione. Scelta del tempo di campionamento. Alcuni problemi di controllo ottimo: trasferimento dello stato in tempo minimo. Loro soluzione con le tecniche della programmazione matematica. Regolatori adattativi.

### Parte IV: *Casi di Applicazione.*

Il problema del controllo di una macchina per produzione di carta: impiego dei modelli dinamici lineari per il controllo in linea a minima varianza. Il problema del bilancio materiali in impianti petrolchimici: uso di una tecnica di ottimizzazione statica a due livelli. Illustrazione delle fasi di progetto e di realizzazione di un sistema di controllo utilizzando un microcalcolatore.

### *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 didat-

tico utilizzabile per la soluzione dei principali algoritmi di identificazione e controllo presentati. Gli studenti possono utilizzare tale package al terminale della Facoltà.

*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.

1365

## **DISEGNO**

Docenti: **Fulvio Terragni** prof. inc. stab. (Elettronici A-K)

**Antonio Strozzi** prof. inc. (Elettronici L-Z)

### *Finalità del corso*

Il corso si prefigge lo scopo di introdurre le nozioni necessarie per la comprensione del linguaggio comune del disegno tecnico facendo acquisire agli allievi la capacità di interpretare ed eseguire la rappresentazione grafica di singoli elementi tridimensionali e loro mutui collegamenti.

Parte del corso viene dedicata alla illustrazione del Disegno Automatico per mezzo di elaboratore elettronico.

### *Programma*

Strumenti per il disegno. Linee e scritturazioni unificate. Scale di proporzione. Costruzioni geometriche fondamentali. Proiezioni ortogonali. Assonometrie. Ribaltamenti. Disposizione delle viste e norme di rappresentazione. Le sezioni nel disegno tecnico. Norme e criteri di quotatura. Rappresentazione di complessivi ed estrazioni di particolari. Brevi cenni sulle lavorazioni meccaniche (plastiche e ad asportazione di truciolo). Tolleranze di lavorazione. Collegamenti mediante organi filettati. Collegamenti per alberi e mozzi. Classificazione dei materiali metallici. Collegamenti mediante chiodature. Collegamenti mediante saldature. Cenni di trasmissione del moto rotatorio (cinghie, ruote di frizione, ruote dentate). Cuscinetti radenti e volventi.

Segni grafici (simbologia per circuiti elettrici e logici).

Introduzione al Disegno Automatico: dispositivi grafici (plotters, digitalizers, displays). Cenni sulla configurazione strutturale degli elaboratori digitali. Descrizione e applicazione di alcuni programmi per il disegno automatico.

### *Testi consigliati*

appunti redatti dai docenti

MANFÈ', POZZA, SCARATO, *Disegno meccanico*; Principato Editore, Milano, I e II vol.).

- E. SOBRERO, *Corso di disegno*, Vol. I e II, Pitagora Ed., Bologna.  
 P. PELLONI, *Complementi di disegno tecnico*, Pitagora Ed., Bologna.  
 MANFE', POZZA, SCARATO, *Manuale di disegno meccanico*, Principato Ed., Milano.  
 A. STROZZI, G. MEDRI, *Simboli grafici nel disegno tecnico*, Pitagora Ed., Bologna.

Le ore di lezione della materia nell'arco della singola giornata sono di norma suddivise come segue:

- prime due ore per lezione teorica
- restanti tre ore per esercitazioni.

#### *Regolamento del corso*

1 — Gli elaborati grafici eseguiti durante le esercitazioni vengono corretti durante le esercitazioni stesse.

2 — L'allievo che non potesse eseguirli regolarmente in aula di disegno è comunque tenuto a svolgerli ed a consegnarli al momento dell'esame.

3 — Di norma gli esercizi grafici devono venire eseguiti a matita su fogli di carta bianca opaca formato A3 o A4, squadrate e con la tabella *compilata con inchiostro nero*. I fogli formato A3 devono sempre venire consegnati *correttamente piegati*.

4 — I testi di tutti gli esercizi consegnati possono venire ritirati presso la Segreteria dell'Istituto di Automatica, V.le Risorgimento 2, I piano (orario: 9-12 sabato escluso).

#### *Svolgimento degli esami*

Alla fine del corso viene pubblicato l'elenco degli elaborati svolti durante lo anno. *L'ammissione all'esame è subordinata alla consegna degli elaborati suddetti presso la Segreteria dell'Istituto di Automatica, una settimana prima della data dell'appello d'esame*. L'esame consiste di una prova grafica e di una prova orale. La prova grafica è costituita dall'esecuzione del disegno di un particolare estratto da un complessivo e dallo schizzo di un collegamento tra organi meccanici. La prova orale ha carattere integrativo e verte sulla materia svolta durante il corso.

2438

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

Il corso si propone di fornire allo studente gli strumenti fondamentali per l'analisi di qualunque circuito elettronico i cui componenti siano caratterizzati da una descrizione "ai terminali", che prescindendo cioè dalla struttura fisica del componente stesso. 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*

Generalità sui circuiti, sui segnali e sui componenti elettronici. Elementi bipolari, n-polari e n-poli bipoli: equazioni "ai terminali", linearizzazione, circuiti equivalenti per piccoli segnali; definizione e proprietà di diverse matrici. Applicazioni ai principali componenti a semiconduttore. 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 transistor 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. Generalità sull'analisi dei circuiti non lineari. Analisi di circuiti non lineari in regime periodico: moltiplicatori armonici di frequenza, amplificatori per grandi segnali (bilancio di potenza, problemi di efficienza, classi di funzionamento), circuiti in controfase, oscillatori sinusoidali. Circuiti con bipoli a resistenza negativa: analisi della stabilità delle posizioni di equilibrio, circuiti bistabili, astabili, monostabili. Sintesi di bipoli a resistenza negativa. Multivibratori. Circuiti non lineari con diodi.

*Testi consigliati:*

E. DE CASTRO, *Appunti di Elettronica Generale ed Applicata*, Coop. Libr. Univers. S.E.E.C. 7 volumi di Autori vari, Ed. Wiley.

GRAY-SEARLE, *Principi di elettronica - Fisica, Modelli e circuiti*, Masson Italia ed.

GRAY-MEYER, *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits*, Ed. Wiley.

*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 del corso.

E' anche disponibile un ciclo di esercitazioni pratiche che ha luogo durante il IV anno di corso, congiuntamente alle esercitazioni di Comunicazioni elettriche I. La frequenza è facoltativa e gli studenti interessati sono tenuti ad iscriversi presso l'Istituto di Elettronica entro il 10 novembre.

L'esame è composto da una prova scritta (2 ore) con esclusione dall'orale, e da una prova orale.

5809

**ELETRONICA APPLICATA II**Docenti: **Giorgio Baccarani** prof. straordinario. (Elettronici A-K)**Bruno Riccò** prof. straordinario. (inc.) (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. Proprietà elettriche dei componenti elettronici**

Breve introduzione sulle proprietà elettriche dei semiconduttori. Il diodo a giunzione: principi di funzionamento e caratteristica statica. Principi di funzionamento del transistor bipolare: le equazioni di Ebers-Moll. Caratteristiche di ingresso-uscita nelle diverse connessioni in forma grafica ed analitica. Il transistor come interruttore comandato. Il modello a controllo di carica. Il transistor MOS: principi di funzionamento e sua equazione caratteristica. Transistori ad accentuazione e svuotamento. Cenni sulla tecnologia planare del silicio: tecnologia bipolare e MOS.

**2. Circuiti non rigenerativi: le famiglie logiche**

L'invertitore RTL. Transitorio di commutazione dell'invertitore dallo stato di interdizione a quello di saturazione, e viceversa. Circuiti logici RTL accoppiati direttamente: famiglia logica DCTL. Famiglia logica DTL e sue varianti circuitali. Famiglia logica TTL e sue varianti circuitali. Circuito TRISTATE. Famiglia logica TTL Schottky. Famiglia logica ECL. Famiglia logica I<sup>2</sup>L. Invertitore MOS con carico ad accentuazione saturo e non saturo. Transistori di commutazione dell'invertitore MOS. Invertitore MOS con carico a svuotamento. Funzioni logiche elementari in tecnologia MOS. Schiere logiche programmabili e circuiti d'interfaccia MOS-TTL. Circuiti MOS a simmetria complementare. Invertitore e funzioni logiche elementari CMOS. Analisi comparativa delle varie famiglie logiche in termini di velocità, consumo, immunità ai disturbi, fan-out e costo.

**3. Circuiti rigenerativi e memorie a semiconduttori**

Bipoli a resistenza negativa realizzati mediante transistori in retroazione. Analisi delle possibili configurazioni atte a realizzare resistenze differenziali negative. I multivibratori: bistabile, monostabile, astabile. Flip-flop Set-Reset, Master-Slave, D e J-K. Organizzazione delle memorie a semiconduttori: memorie ad accesso sequenziale, ad accesso casuale (RAM) ed a sola lettura (ROM). Circuiti di decodifica a diodi e transistori. Circuiti di I/O. Cella di memoria RAM in tecnologia bipolare. Cella di memoria RAM in tecnologia MOS. Cella statica a 6 transistori e celle dinamiche a 3 e 1 transistori. Struttura e funzionamento del "sense amplifier" nelle memorie dinamiche MOS ad 1 transistori per cella.

*Testi consigliati*

Dispense del corso scritte dal Prof. E. De Castro e dall'Ing. G. Corazza, Coop. Libreria Universitaria.

TAUB, SCHILLING, *Digital Integrated Electronics*, Mc-Grow Hill.

*Esame* scritto e orale.

Per seguire con profitto il corso si ritiene indispensabile aver frequentato Eletttronica applicata I.

4314

**ELETRONICA APPLICATA III**

Docente: **Ercole De Castro** prof. ord.

Il Corso è concepito come una introduzione alla Fisica elettronica ed alle sue applicazioni alla teoria dei dispositivi. Esso può essere considerato a sè stante ed allora il suo significato è essenzialmente di base culturale; oppure, a scelta dello studente, può essere seguito dai corsi di "Microelettronica" e/o di "Elettronica Quantistica" ed in tal caso costituisce la parte propedeutica di un gruppo di materie con le quali viene sviluppato in modo ragionevolmente approfondito e completo quanto è essenziale per la formazione professionale di un ingegnere elettronico nel settore della microelettronica.

*Programma*

## a) Lezioni

I) Elementi di Ottica elettronica. Oscillografi a raggi catodici e spettrografi di massa. Cenni su poliodi al alto vuoto.

II) Elementi di Meccanica Quantistica con alcune applicazioni elementari.

III) Elementi di teoria dei solidi: moto di un elettrone in un campo periodico e bande di energia; statistica di Fermi; pacchetti d'onde di Bloch; conduttori, isolanti e semiconduttori; elettroni e lacune nei semiconduttori; teorema della massa efficace; semiconduttori drogati; equazioni di continuità e del trasporto nei semiconduttori.

IV) Elementi di teoria dei dispositivi a semiconduttori: modello matematico della teoria; condizioni di equilibrio, linearizzazione delle equazioni dei dispositivi nell'intorno di una situazione di equilibrio; analisi della giunzione p-n; il diodo a giunzione p-n come raddrizzatore e come varactor; transistori FET; transistori a giunzione in regime stazionario ed in condizioni dinamiche (modello a controllo di carica); Condensatori e transistori MOS; brevissimi cenni su altri dispositivi (diodi e transistori a barriera Schottky, effetto Gunn, diodi a valanga).

## b) Esercitazioni

Esercizi numerici e proiezione commentata di diapositive su: oscillografi a raggi catodici e relativi problemi di ottica elettronica, polioidi ad alto vuoto, tecnologia planare e principali dispositivi al silicio, circuiti integrati monolitici, circuiti a film, integrati ibridi.

*Testi consigliati:*

E. DE CASTRO, *Fisica elettronica ed elementi di teoria dei dispositivi*, UTET.

2037

**ELETRONICA INDUSTRIALE**

Docente: Eugenio Faldella prof. inc. stab.

Il Corso intende fornire le conoscenze di base per la progettazione dei sistemi elettronici che trovano applicazione nelle macchine e negli impianti industriali. In particolare vengono esaminate le caratteristiche funzionali degli elementi costitutivi di tali sistemi, con riferimento sia alle unità di alimentazione, di trasduzione e di potenza, sia ai circuiti elettronici di controllo, ed in special modo a quelli basati sull'uso dei microprocessori.

*Programma*

– Alimentatori: raddrizzatori, filtri, regolatori, circuiti di limitazione della corrente. Criteri di progetto di un alimentatore stabilizzato.

– Dispositivi di potenza per applicazioni industriali: diodi controllati al silicio (S.C.R.), interruttori controllati (S.C.S. e TRIAC), transistori unigiunzione (U.J.T.), transistori unigiunzione programmabili (P.U.T.).

– Amplificatori statici di potenza: convertitori a.c. - d.c. e a.c. - a.c., choppers, inverters - Esempi di applicazione nel campo del controllo di motori elettrici e della regolazione di impianti di illuminazione e riscaldamento industriale.

– Trasduttori: principio di funzionamento, caratteristiche e modalità di impiego di trasduttori elettroottici, elettrochimici, elettromeccanici, termoelettrici.

– Unità di controllo programmabili: architettura di sistemi a microprocessore, criteri per la scelta dei componenti e la definizione della configurazione hardware, organizzazione e sviluppo del software applicativo.

– Sintesi e classificazione delle principali aree applicative. Esempi.

*Testi consigliati:*

1) Appunti tratti dalle lezioni.

2) "SCR Manual", General Electric Company, 1979.

3) S.B. DEWAN, A. STRAUGHEN: "Power Semiconductor Circuits", J. Wiley, 1975.

4) K.L. SHORT: "Microprocessors and Programmed Logic", Prentice Hall, 1981.

L'*esame* consiste in una prova scritta e in una prova orale a carattere integrativo.

Il corso prevede *esercitazioni*, sia in aula che in laboratorio, nelle quali vengono sviluppati ed approfonditi gli argomenti di teoria attraverso esempi ed applicazioni di pratico interesse.

*Propedeuticità consigliate*: si ritengono indispensabili le nozioni fondamentali dei corsi di Elettronica applicata I e Reti logiche.

2034

**ELETTRONICA QUANTISTICA**

Docente: Massimo Rudan prof. inc.

Il corso sviluppa la teoria e le principali applicazioni dei dispositivi optoelettronici. Il suo svolgimento è coordinato con quello del Corso di Elettronica Applicata III, che gli è propedeutico.

*Programma*

- 1) Introduzione: significato e limiti del Corso, e sue connessioni con altri Insegnamenti. Prospettive applicative in cui si colloca l'Optoelettronica.
- 2) Richiami sui metodi generali della Meccanica Quantistica. Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo. Assorbimento, emissione spontanea ed emissione stimolata della radiazione e.m.; relazioni di Einstein. Gli amplificatori molecolari: Maser e Laser.
- 3) Diodi emettitori di luce e "display" a semiconduttore. Dinamica dei laser. Vari tipi di laser.
- 4) Rivelatori di radiazione e.m. e celle fotovoltaiche. Rivelatori per infrarosso. Sensori di immagini, con particolare riguardo alle strutture CCD.
- 5) Propagazione della radiazione e.m. nei cristalli elettricamente anisotropi; birifrangenza. Effetto elettro-ottico lineare ed applicazioni: modulatori di ampiezza e di fase, deviatori.
- 6) Olografia e metodi di elaborazione delle informazioni ottiche.
- 7) Breve panoramica delle principali applicazioni dell'optoelettronica alle Telecomunicazioni e ad altri settori industriali, alla Metrologia, alla Medicina.

*Testi consigliati*

- E. DE CASTRO, *Fisica elettronica ed elementi di Teoria dei dispositivi*, UTET 1975.  
 O. SVELTO, *Principi dei laser*, Tamburini, 1972.  
 C. SEQUIN, M. TOMPSETT, *Charge Transfert Devices*, Academic Press, N.Y., 1975.  
 A. YARIV, *Quantum Electronics*, J. Wiley N.Y., 1975.

*Esame orale.*

6795

**ELETTROTECNICA I**Docenti: **Filippo Ciampolini** prof. ord. (Elettronici A-K)**Paolo R. Ghigi** prof. straord. (Elettronici L-Z)

Il corso ha carattere essenzialmente formativo anche se in esso si trattano numerose questioni di considerevole interesse tecnico. Le finalità del corso sono essenzialmente due: richiamare ed approfondire le questioni di Elettromagnetismo in parte viste al biennio, anche al fine di omogeneizzare la preparazione di allievi di diversa provenienza — sviluppare abbastanza ampiamente lo studio dei circuiti elettrici e magnetici e delle questioni energetiche ad essi relative, in vista dei numerosi riagganci con i corsi “a valle” di quello in questione.

*Programma*

*Equazioni generali dell'elettromagnetismo* (forma locale ed integrale; equazioni di legame materiale; condizioni di continuità sulla superficie fra due mezzi) *Elettrostatica*: (definizioni ed equazioni fondamentali; regime elettrostatico dei conduttori; campo all'esterno dei conduttori; schermi elettrostatici condensatori) *Elettromagnetismo stazionario* definizioni ed equazioni fondamentali-*Elettrodinamica stazionaria*: legge di Ohm, principi di Kirchoff, soluzione di reti elettriche, aspetti energetici nei circuiti, effetto Joule-*Magnetismo stazionario*: circuiti magnetici ad elevata permeabilità, circuiti magnetici in presenza di simmetrie, ricerca del campo magnetico nel caso generale, potenziale vettore, coefficienti di auto e mutua induzione, isteresi magnetica, magneti permanenti) — *Elettromagnetismo quasi — stazionario* (definizioni e ipotesi, circuiti a costanti concentrate, generalizzazione delle leggi di Ohm e di Kirchoff) *Transitorio dei circuiti elettrici* (posizione del problema, dati e valori iniziali, ricerca delle correnti transitorie e di regime, esempi vari) *Bilancio energetico dei sistemi elettromagnetici* (equazione generale di bilancio-*Energie conservative*: elettrica e magnetica-*energie dissipate*: effetto Joule ed isteresi magnetica-*forze*: fra le armature di un condensatore, in un elettromagnete, ecc.) *Correnti alternate* (definizioni fondamentali, metodo simbolico, leggi simboliche di Ohm e di Kirchoff, applicazioni varie, potenze attiva e reattiva, rifasamento) — *Sistemi trifasi* (proprietà fondamentali, utilizzatori a stella e a triangolo, potenze e relative misure, sistemi trifase con neutro).

*Testi consigliati:*F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, ed. Pitagora.

Il testo suddetto è integrato con una dispensa di appunti che estende il programma di circa un 20 %, soprattutto per quanto riguarda lo studio dei circuiti elettrici.

Gli *esami* si svolgono, a scelta dello studente, o nella forma tradizionale orale ovvero in forma scritta con un esame orale integrativo (ridotto).

Il Corso di Elettronica I — tenuto dal Prof. Ciampolini — sarà preceduto da una serie di lezioni sui prerequisiti che si daranno per scontati negli allievi che frequenteranno il corso medesimo.

Tali lezioni, ovviamente facoltative e non necessarie a chi tali requisiti già possiede, hanno lo scopo di uniformizzare la preparazione degli allievi provenienti da bienni diversi.

Esse si svolgeranno nella decade immediatamente precedente l'inizio del corso ufficiale (per un totale di 10-12 ore) secondo il seguente programma:

- 1) Richiami di calcolo vettoriale: concetti di circuitazione, flusso, vettori solenoidali, flusso concatenato;
- 2) operatori vettoriali: gradiente, divergenza, rotazionale, laplaciano;
- 3) fenomeni descrivibili con due vettori localmente proporzionali, uno dei quali solenoidale;
- 4) definizioni delle grandezze fondamentali che intervengono nello studio dell'Elettromagnetismo: carica elettrica, densità di carica elettrica, corrente elettrica, vettore densità di corrente elettrica, campo elettrico, induzione magnetica, momenti di dipolo (elettrico e magnetico), polarizzazione (elettrica e magnetica), campo magnetico ed induzione elettrica;
- 5) richiami sulle grandezze sinusoidali ed esponenziali — Metodo simbolico;
- 6) richiami sulla trasformata di Laplace;
- 7) alcuni richiami sui sistemi fisici lineari (legge della sovrapposizione degli effetti etc . . .).

6795

**ELETTROTECNICA II**

Docente: **Ugo Reggiani** prof. straord.

*Finalità del corso*

Il corso si propone lo studio della "dinamica" delle macchine elettriche secondo una trattazione unitaria. Ciò non soltanto come naturale prosecuzione dell'analisi delle macchine elettriche, iniziata nel corso di "Elettrotecnica I" con lo studio dei principi di funzionamento, ma anche e soprattutto per fornire quelle conoscenze (modelli matematici, funzioni di trasferimento, schemi a blocchi delle diverse macchine) indispensabili per analizzare i sistemi di controllo che impiegano o si applicano a macchine elettriche. In questa ottica vengono illustrati numerosi esempi di macchine trattate come "componenti" di un sistema di controllo.

*Programma*

Rappresentazione delle macchine elettriche rotanti come circuiti accoppiati magneticamente ed in moto tra loro: modello matematico dinamico rappresentato da equazioni espresse in funzione di induttanze variabili nel tempo; studio basato sulla sostituzione dei circuiti in moto con circuiti in quiete tra loro.

Macchina a corrente continua: modello matematico dinamico; funzioni di trasferimento e schemi a blocchi di macchine a corrente continua; funzionamento in

regime permanente; regolazione della velocità dei motori a corrente continua; sistemi di controllo retroazionati che impiegano macchine a corrente continua.

Macchine rotanti a corrente alternata trifase: equazioni nelle grandezze di fase; trasformazione delle grandezze di fase in grandezze di asse diretto ed in quadratura; equazioni nelle grandezze d'asse e macchina bifase equivalente.

Macchina sincrona: modelli matematici dinamici e relative ipotesi semplificative; schemi a blocchi di un alternatore; regolazione automatica della tensione di un alternatore; funzionamento in regime permanente.

Macchina asincrona: modello matematico generale del 5° ordine e modelli ridotti; funzionamento in regime permanente.

Regolazione della velocità dei motori a corrente alternata mediante convertitori statici di frequenza.

Analisi della stabilità statica delle macchine elettriche rotanti: linearizzazione delle equazioni nell'intorno di un punto di equilibrio; ingresso-stato-uscita del "sistema" macchina e relativa equazione caratteristica.

*Propedeuticità consigliate:* Elettrotecnica I e Controlli automatici I.

*Testi consigliati:*

A.E. FITZGERALD, C. KINGSLEY Jr., A. KUSKO: *Macchine Elettriche*, Franco Angeli Editore, Milano.

J. HINDMARSH: *Electrical Machines and their Applications*, 3<sup>a</sup> Ed., Pergamon Press, Oxford.

F. CIAMPOLINI: *Fondamenti di elettrotecnica: macchine*, UTET, Torino.

1369

## FISICA I

Docenti: **Franco Verniani** prof. straordinario. (Elettronici A-K)

**Gianni Vannini** prof. incaricato. (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. Le nozioni impartite non contengono tecnicismi complicati, ma mirano a dare un quadro il più completo possibile dei concetti e dei principi della meccanica classica e della termodinamica.

*Programma*

A) Elementi di calcolo vettoriale.

B) Cinematica: Cinematica del punto materiale. Cinematica dei sistemi rigidi. Moto relativo.

- C) Dinamica: Concetto di forza. Dinamica del punto materiale (I e II principio). Dinamica dei sistemi di punti (III principio, equazioni cardinali. . .). Dinamica dei sistemi rigidi. Sistemi di riferimento non inerziali.
- D) Lavoro ed energia: punto materiale e sistema di punti.
- E) Temperatura: Equilibrio termico e termometri.
- F) Sistemi termodinamici semplici.
- G) Lavoro termodinamico.
- H) Il I principio della termodinamica: Lavoro e calore.
- I) Gas ideali: Equazione di stato di un gas. Energia interna di un gas.
- L) Teoria cinetica dei gas.
- M) Il II principio della termodinamica: Macchine termiche e frigorifere.
- N) Reversibilità ed irreversibilità: connessione fra il II principio e l'esistenza di trasformazioni irreversibili.
- O) Il ciclo di Carnot e la scala di temperatura Kelvin.
- P) Entropia: Concetto di entropia. Entropia ed irreversibilità, Principio dell'aumento di entropia.

*Testi consigliati:*

- P. VERONESI, E. FUSCHINI, *Fondamenti di Meccanica classica*, (Ed. Coop. Libreria 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).
- G. BERNARDINI, *Fisica generale*, (ed. Veschi).
- E. FERMI, *Termodinamica*, (ed. Boringhieri).

Le *esercitazioni* costituiscono parte integrante del corso e attualmente non contengono alcuna prova pratica di Laboratorio.

*Esame:* orale.

1372

**FISICA II**

Docenti: **Cesare Maroni** prof. inc. stab. (Elettronici A-K)  
**Alessandro Gandolfi** prof. inc. stab. (Elettronici L-Z)

*Finalità del corso:*

Studio dei fenomeni di elettromagnetismo e di ottica. Teoria di Maxwell dei fenomeni elettromagnetici e ottici.

*Programma*

Il campo elettrostatico – Legge di Gauss e della circuitazione – Applicazio-

ni – Il problema del potenziale – Applicazioni – 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 Ampere – La forza di Lorentz – Calcolo del campo magnetico in alcuni casi – L'induzione elettromagnetica – Il campo elettrico indotto – Campo indotto e forza di Lorentz – La legge di Ampere/Maxwell – Corrente di spostamento – Le equazioni di Maxwell – Le onde elettromagnetiche – I potenziali ritardati – Applicazioni – 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.

*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**

Docente: **Sandro Salvigni** prof. ord.

*Finalità del corso:*

Il corso si propone di fornire i criteri con cui affrontare lo studio energetico dei sistemi sia esaminando le principali trasformazioni termodinamiche fra le diverse forme di energia (termica, meccanica, elettrica) 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 e criteri di stabilità. Effetti termoelettrici: effetto Seebeck, Peltier, Thomson, Joule e Fourier e relazioni di legame esistenti. Figure di merito. Diagrammi termodinamici e proprietà termodinamiche dei liquidi, dei vapori, e dei gas perfetti. Trasformazioni termodinamiche nei liquidi, nei vapori, nei gas. Sistema aperto. Il primo principio della termodinamica per i sistemi aperti. Il bilancio delle masse e dell'energia

meccanica nei sistemi aperti. *Fluidodinamica*: Elementi di fluidodinamica: generalità – Aspetti fisici del moto di un fluido – Viscosità – Equazioni fondamentali del moto isoterma – Moto laminare – Turbolenza – Equazioni integrali – Perdite di carico – Considerazioni sull'analisi dimensionale – Condotte nelle quali sono inserite macchine – Misure di velocità e di portata – Onde sonore e acustica – Trattamento matematico – Grandezze acustiche. *Termocinetica*: La legge di Fourier – L'equazione di Fourier – Conduzione stazionaria – Conduzione in mezzi anisotropi: cenni – Analogia Elettrica – Proprietà termofisiche – La convezione: generalità – Equazioni fondamentali del moto non isoterma – Convezione forzata in regime laminare – Analisi dimensionale – Similitudine – Strato limite termico – Convezione forzata: casi particolari – Convezione naturale o mista: casi particolari – L'irraggiamento: generalità – Scambio di energia tra superficie infinite e finite – Contemporanea presenza di diverse modalità di scambio: generalità – Convezione e irraggiamento – Coeff. globale di scambio termico.

*Testi consigliati:*

A. COCCHI, *Termofisica per ingegneri*, ed. Petroni.

AUTORI DIVERSI, *Esercizi di Fisica Tecnica*, Vol. I e II, Ed. Petroni.

A. GIULIANINI, *Esercizi di Fisica Tecnica*, Vol. I, ed. Patron

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**

Docente: **Alfonso Matteuzzi** prof. inc. stab.

*Finalità del corso*

Il corso si propone, mediante la costruzione aritmetica, lo studio della Geometria, che è parte integrante della Matematica, e la cui applicazione implica una capacità che può essere acquisita soltanto attraverso un lavoro intellettuale eminentemente formativo. La materia avrà il suo sviluppo con l'ausilio dell'Algebra, attraverso gli spazi numerici e i gruppi di trasformazioni per classificare relazioni e proprietà in base al gruppo più ampio di trasformazioni rispetto al quale esse sono invarianti. Con la nozione fondamentale di contatto, verranno esaminati elementi di Geometria Differenziale delle curve e delle superficie.

*Programma*

- I) Elementi di algebra astratta e di algebra classica.  
 Insiemi, corrispondenze, strutture. Applicazioni sulle trasformazioni geometriche elementari e i loro gruppi dal punto di vista sintetico. Matrici e determinanti. Sistemi di equazioni lineari. I polinomi. Le equazioni algebriche di grado "n". Forme quadratiche.
- II) Spazi e geometrie: spazio numerico ad "n" dimensioni. I gruppi di trasformazioni: i movimenti, le similitudini, le affinità, le omografie. Geometria euclidea, simile, affine, proiettiva.
- III) Geometria sulla retta e sul piano.  
 Le curve algebriche e trascendenti; le coniche.
- IV) Geometria nello spazio.  
 Le curve e le superficie algebriche e trascendenti; le quadriche.
- V) Elementi di geometria differenziale delle curve e delle superficie.  
 Contatti tra curve, tra superficie, tra curve e superficie. Curve piane; retta tangente, punti di flesso; cerchio osculatore, curvatura; punti multipli; curva involuppo di un sistema. Curve sghembe: retta tangente, piano osculatore, triedro principale, cerchio osculatore; flessione e torsione; punti di flesso.  
 Superfici: piano tangente, le tangenti asintotiche: punti iperbolici, parabolici, ellittici; punti multipli; superficie involuppo di un sistema; flessione delle curve di una superficie; raggi principali di curvatura; curvatura totale, curvatura media.

*Testi consigliati:*

MARIO VILLA, *Lezioni di geometria*, per gli studenti dei corsi di laurea in fisica ed ingegneria, 2<sup>a</sup> edizione, CEDAM, Padova.

MARIO VILLA, *Elementi di algebra*, Patron, Bologna.

5573

**GESTIONE DELL'INFORMAZIONE**

Docente: **Giorgio Valle** prof. straord. (inc.)

*Programma*

1. Caratteristiche fisiche dei dispositivi impiegati come memorie di massa. I nastri magnetici, i tamburi, i dischi a teste fisse e a teste mobili. Il sistema di I/10 dei calcolatori e gestione dei dispositivi precedenti. Definizione di record, file, base di dati.
2. Gestione dei dispositivi ad accesso sequenziale (nastri magnetici). Algoritmi di sort/merge. Tecniche di manipolazione dei file; tecniche di aggiornamento, cancellazione ed inserzione di record. Gestione dei dispositivi ad accesso diretto (di-

schi). Organizzazione della struttura fisica dei dati, Tecniche di accesso. Tecniche ed algoritmi per la gestione di liste, multiliste, liste invertite, sequenzialmente indicate, strutture gerarchiche, strutture reticolari.

3. Il sottosistema per la gestione dei file. Sottoprogrammi per l'allocazione dello spazio e per la gestione dei cataloghi. Algoritmi per l'allocazione dinamica della memoria centrale. Algoritmi di compattamento. Tecniche di progetto e di analisi degli algoritmi di sort/merge.

4. Integrazione dei dati. Concetto di base di dati. Il sistema per la gestione di una base di dati. I tre modelli fondamentali: il modello gerarchico, il modello reticolare e il modello relazionale. Confronto dei tre modelli e loro applicabilità nella pratica. I linguaggi per costruzione delle basi di dati. I linguaggi per l'interrogazione e l'aggiornamento. Analisi dei sistemi più noti sul mercato. Le tendenze di sviluppo.

5. Applicazioni gestionali dei calcolatori. Cenni di altre applicazioni non tecnico/scientifiche dei calcolatori. Impatto sull'organizzazione del lavoro. Aspetti economici.

504

### IMPIANTI ELETTRICI

Docente: **Dino Zanobetti** prof. ord.

Il corso si propone di trattare una scelta di argomenti impiantistici di interesse dell'ingegnere elettronico per aumentarne la cultura elettrotecnica.

#### *Programma*

Generalità sui sistemi elettrici. Distribuzione dell'energia elettrica e questioni connesse (inclusa la messa a terra degli impianti e le questioni di sicurezza e la tarifficazione dell'elettricità). Trasporto dell'energia (incluso l'isolamento degli impianti, l'effetto corona e la sua influenza sulle telecomunicazioni ed il problema del regime del neutro). Cenni sull'apparecchiatura principale e le protezioni. Generazione dell'energia (Compresi i gruppi di continuità, le pile e gli accumulatori).

#### *Testi consigliati:*

Dispense dell'insegnante.

Esercitazioni ed esami.

Si tiene un corso di *esercitazioni* soprattutto numeriche e grafiche.

*Esame* orale.

*Tesi di laurea:* In genere su problemi impiantistici di interesse dell'ingegnere elettronico. (Disturbi, onde convogliate, regolazione e protezione, generatori di piccola potenza e simili).

4138

**LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE**Docente: **Flavio Bonfatti** prof. inc. stab.

Obiettivo del corso è fornire una metodologia per l'analisi e soprattutto per il progetto e lo sviluppo di sistemi di software. Esso si situa tra il corso di Calcolo Elettronico e Sistemi per l'Elaborazione dell'Informazione.

*Programma*

Il concetto di linguaggio di programmazione. Linguaggio Assembler e linguaggi di alto livello. Programma sorgente e programma oggetto. Richiami di architettura dei calcolatori: memoria, CPU, I/O, registri, etc.

I linguaggi di alto livello. La struttura dei programmi. La struttura a blocchi; statement, statement composto, statement ripetitivi, statement condizionali. Le prove per test e la verifica con metodo analitico. La programmazione strutturata. La questione del "go to". Programmazione di un problema complesso. Scomposizione e organizzazione di un programma. Ripartizione del lavoro tra più programmatori.

Il linguaggio Assembler. Passo 1, tavole dei simboli, contatore di istruzioni. Passo 2, produzione del codice oggetto. Collegamento tra i moduli e rilocazione, le MACRO.

Esempio di linguaggi di alto livello. Vantaggi della programmazione in linguaggio di alto livello. Evoluzione dei linguaggi. Uno pseudo-ALGOL. La gestione dinamica delle aree dati e delle variabili. Il passaggio dei parametri. Pure procedure e aree di attivazione.

Teoria dei linguaggi. Sintassi e semantica. Definizione formale di grammatica. Linguaggio generato da una grammatica. Alberi sintattici. Ambiguità. Schema generale di un compilatore. L'analisi lessicale. L'analisi sintattica: il metodo di Floyd; precedenza di operatori. La forma interna del programma sorgente. L'analisi semantica. La generazione del codice. Gli interpretatori e loro differenze con i compilatori. Interpretazione. Generazione del codice.

*Testi consigliati:*

- 1) Dispense informali redatte dal titolare.
- 2) D. GRIES, *Compiler construction for digital computers*.
- 3) N. WIRTH, *Systematic programming: an introduction*.

*Esami* scritti e orali. Si richiede, nel corso di un esame orale, la soluzione almeno informale di un semplice problema di programmazione.

E' indispensabile aver frequentato Calcolo Elettronico e Reti logiche.

Vengono proposte *Tesi di laurea* che vertono principalmente su componenti software di sistema, quali compilatori, sistemi operativi, basi di dati etc. Molte volte lo svolgimento della tesi richiede la progettazione e la realizzazione di una parte di tali componenti.

2632

**MECCANICA DELLE MACCHINE E MACCHINE**Docente: **Arrigo Pareschi** prof. straord. (inc.)

Il corso si propone attraverso lo studio dei principi di funzionamento delle macchine a fluido dal punto di vista cinematico dinamico e termico, di fornire all'allievo elettronico, col dovuto rigore scientifico e tecnico, quell'indispensabile bagaglio culturale, proprio dell'ingegnere, concernente processi ed impianti di rilevante interesse per la realtà industriale di oggi (quali ad esempio gli impianti motori per la produzione di energia elettrica, o gli impianti operatori per l'industria frigorifera o per altre svariate applicazioni industriali), in cui le suddette macchine intervengono come elementi costitutivi fondamentali.

*Programma*

Il corso intraprende lo studio delle *macchine termiche* a fluido comprimibile muovendo da brevi richiami di *termodinamica tecnica*: equazione energetica del moto dei fluidi, funzioni di stato, rappresentazione delle trasformazioni e dei cicli su vari diagrammi di stato, richiami sulle proprietà dei diversi fluidi, sui combustibili e sulla combustione, rendimento rispetto alla isoentropica delle fasi di espansione e di compressione, rendimento meccanico, etc.

Con queste basi e con il modello costante del ciclo di Carnot, si esaminano i principali *impianti termici*: impianti di turbina a gas, a vapore di tipo industriale e di potenza, nucleari, frigoriferi.

Passando poi a considerare le singole macchine, si esaminano innanzitutto gli *scambiatori di calore ed i generatori di vapore*, in cui si hanno scambi di energia termica senza organi in movimento. Il corso esamina poi la *composizione delle macchine*, studiandone gli organi ed i collegamenti fondamentali (coppia prismatica, roto-dale ed elicoidale, perni di spinta e portanti, rulli, ruote, alberi) ed il loro comportamento sotto l'azione delle diverse forze: in particolare vengono considerati gli effetti delle forze di attrito sul funzionamento e sul rendimento meccanico del dispositivo. Segue lo studio delle *macchine termiche rotanti* (turbine di diverso tipo: a vapore e a gas ad azione, a reazione, semplici, multiple, miste, assiali e radiali); l'argomento viene completato con lo studio della regolazione della velocità angolare, delle velocità critiche e più in generale delle vibrazioni, e del disco di uniforme resistenza. Il corso esamina poi i *sistemi articolati*, il comportamento cinematico e dinamico del quadrilatero articolato e del manovellismo di spinta. Con tali nozioni si prendono quindi in esame le *macchine termiche alternative*: compressori e motori a combustione interna. Infine il corso affronta lo studio delle *macchine a fluido incompressibile o idrauliche*. Anch'esse vengono distinte in rotative ed alternative; si considerano le turbine Pelton, Francis, ad elica e Kaplan, le pompe centrifughe e quelle alternative.

*Testi consigliati:*

- S. FABBRI, *Appunti di meccanica applicata alle macchine e macchine*, ed. Patron.  
S. FABBRI, *Complementi di meccanica applicata alle macchine e macchine*, Ed. Patron.

*Propedeuticità consigliata:* Fisica tecnica.

L'esame è orale. La prova inizia con uno schema a mano libera di una macchina di cui l'allievo deve poi illustrare i principi di funzionamento, i criteri di dimensionamento etc...

Le *esercitazioni* consistono in: applicazioni numeriche su macchine funzionanti in centrali termoelettriche, in impianti turbogas e frigoriferi; complementi alla teoria riguardanti le misure di grandezze meccaniche quali portate, pressioni, temperature etc...; dimostrazioni didattiche in aula di rilievo delle grandezze citate su un circuito idraulico trasportabile corredato di tutta la necessaria strumentazione (diaframma, manometri a colonna e Bourdon, termocoppie, trasduttori di spostamento e di pressione, registratore a raggi ultravioletti etc....).

Indirizzo delle *Tesi di Laurea*: realizzazione di catene di misura con trasduzione elettrica per la misura di grandezze meccaniche; ottimizzazione mediante programmi di calcolo di cicli di impianti e processi industriali.

1381

### MECCANICA RAZIONALE

Docenti: **Pier Paolo Abbati Marescotti** 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, addestrandoli 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 paina; momenti d'inerzia, elissoide 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 approssimativi 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**

Docente: **Maurizio Zoboli** prof. inc.

Il corso si propone di far comprendere allo studente le caratteristiche essenziali di ogni processo di acquisizione sperimentale di dati e di fornirgli le nozioni fondamentali di calcolo delle probabilità e analisi statistica che si utilizzano in tali processi.

*Programma*

*Considerazioni preliminari*, intese a giustificare la necessità dell'impiego di pro-

cedimenti statistici, e quindi della conoscenza del calcolo delle probabilità nell'ambito della misura delle grandezze fisiche e, più in generale, dell'osservazione di fenomeni naturali.

*Elementi di calcolo delle probabilità.* — Introduzione intuitiva del concetto di probabilità, definizione "classica" e "frequentista", loro limiti. Impostazione assiomatica del calcolo delle probabilità. Probabilità condizionate, teorema di Bayes, indipendenza stocastica. Esperimenti combinati, prove ripetute.

Variabili aleatorie, funzioni di distribuzione, momenti. V.a. suscettibili di assumere un numero finito di valori, distribuzioni binomiale, ipergeometrica, uniforme. V.a. pluridimensionali, distribuzioni condizionate e marginali, covarianza; la distribuzione multinomiale.

Proprietà delle somme di v.a..

Teoremi di Tchebycheff e di Bernoulli, legge (debole) dei grandi numeri.

V.a. ad infiniti valori discreti; distribuzioni geometrica, binomiale negativa, di Poisson (anche come approssimante la binomiale).

V.a. continue uni- e pluridimensionali; funzioni di densità di probabilità; funzioni di v.a.. Distribuzione normale; teorema di De Moivre, cenno al teorema di convergenza stocastica; distribuzione binormale. Distribuzioni di tipo gamma,  $X^2$ , esponenziale; distribuzioni di Student e di Fischer.

*Elementi di analisi statistica.* — Cenni di statistica descrittiva: rappresentazioni per attributi e per variabili; distribuzioni empiriche, loro parametri di posizione e di dispersione.

Teoria dei campioni: stime, criterio di massima verosimiglianza, metodo dei momenti. Stima del v.m. e della varianza. Intervalli di confidenza. Il test  $X^2$  ed alcuni altri problemi di verifica di ipotesi. Correlazione, regressione; il metodo dei minimi quadrati. Cenni sull'analisi della varianza.

*Misura delle grandezze fisiche.* — Inquadramento generale di questioni già affrontate in altri corsi. Errori nelle misure dirette ed indirette, applicazioni specifiche dei metodi dell'analisi statistica precedentemente studiati.

*Testi consigliati:*

Attualmente, dispense fotocopiate. Testo in preparazione.

Gli esami si tengono con periodicità di massima settimanale.

*Propedeuticità consigliate:* Analisi matematica I e II e Fisica I.

5701

**METODI DI OTTIMIZZAZIONE**Docente: **Marco Tibaldi** prof. inc. stab.

Scopo del corso è delineare la problematica connessa all'ottimizzazione statica, ovvero programmazione matematica, e fornire un panorama sufficientemente dettagliato dei metodi di risoluzione.

*Programma*

- Classificazione dei problemi di ottimizzazione.
- Risoluzione analitica di problemi di piccole dimensioni. Condizioni di Lagrange e Kuhn-Tucker.
- Generalità sui metodi numerici. Convergenza. Efficienza. Metodi numerici per la risoluzione di problemi unidimensionali.
- Problemi di programmazione lineare. Presupposti per la ricerca delle soluzioni fra un numero finito di elementi. Algoritmi del simplesso. Dualità.
- Problemi di programmazione non lineare. Metodi numerici per la risoluzione di problemi non vincolati (Newton-Raphson modificato, gradiente, direzioni coniugate, derivati da Newton, ricerca diretta) e di problemi vincolati (funzione di penalizzazione, proiezione del gradiente, programmazione geometrica, programmazione dinamica). Ottimizzazione esplorativa.
- Considerazioni generali sull'utilizzazione dei metodi di risoluzione. Applicazioni. Risoluzione di particolari problemi di controllo ottimo, riconducibili alla programmazione matematica.
- Teoria dei giochi. Risoluzione mediante la programmazione lineare.

*Testi consigliati*

M. TIBALDI, *Tecniche di programmazione non lineare*, Pitagora, Bologna.  
Appunti informali redatti a cura del Docente.

Lo svolgimento dell'*esame* consiste in una prova orale. Appelli settimanali a richiesta.

*Tesi di laurea*: sviluppo e ricerca di (nuovi) metodi numerici per la risoluzione di problemi di ottimizzazione (indirizzo teorico); sviluppo e messa a punto di programmi per la realizzazione di metodi numerici e risoluzione di problemi pratici (indirizzo applicativo).

5702

**MICROELETTRONICA**Docente: **Giovanni Soncini** prof. inc. stab.

Il Corso presuppone la sola propedeuticità di "Elettronica Applicata III", di cui sviluppa il filone dei dispositivi al silicio in senso nettamente orientato verso i problemi ingegneristici della progettazione dei circuiti integrati, con le necessarie premesse di carattere tecnologico.

*Programma**Introduzione al corso*

La tecnologia planare del silicio. Componenti discreti e circuiti integrati monolitici. Cenni sui circuiti integrati ibridi.

*Processi fondamentali della tecnologia planare*

Richiami e complementi sulle proprietà dei semiconduttori in generale e del silicio in particolare. Ossidazione termica: cinetica di crescita. Diffusione termica. Fenomeni di redistribuzione. Impiantazione ionica. Epitassia. Metallizzazione mediante evaporazione sotto vuoto. Fotolitografia e produzione delle maschere. Limiti di risoluzione attuali e prospettive.

Testing, scribing ed incapsulamento finale dei componenti discreti e dei circuiti integrati.

*Componenti attivi e passivi dei circuiti integrati*

Richiami sulle proprietà elettriche della giunzione p/n brusca e graduale. Giunzioni diffuse. Strutture MS ed MOS. Analisi e progetto di diodi planari per circuiti integrati. Richiami sulle proprietà elettriche del transistor bipolare non a giunzioni brusche. Transistori con profili graduali. Analisi e progetto di transistori planari per circuiti integrati. Strutture speciali: transistori multi-emitter e complementari. Resistori integrati monolitici. Resistori "pinched". Condensatori integrati monolitici del tipo a giunzione e MOS. Transistori MOS.

*Progetto dei circuiti integrati*

Considerazioni di carattere generale sul progetto di circuiti integrati numerici ed analogici. Tolleranze, affidabilità e rese di produzione. Esempio di progetto di un semplice circuito integrato bipolare oppure MOS.

*Testi consigliati*

Appunti informali redatti a cura del docente.

Esame orale, nel corso della quale si discute anche la soluzione di semplici problemi di progetto.

*Propedeuticità consigliata:* Elettronica applicata III.

2191

**MICROONDE**Docente: **Gabriele Falciasecca** prof. straordinario.

Il corso si propone di fornire le metodologie per lo studio delle parti ad altissima frequenza dei sistemi di telecomunicazione e sulla base di queste individuare i criteri di progetto di singoli circuiti o anche dell'intero sistema, quando questo utilizzi portanti fisici per la propagazione.

*Programma*

*Propagazione guidata* — Fondamenti della teoria della propagazione nelle strutture cilindriche: metodo generale per la determinazione di un insieme completo di soluzioni. Propagazione nelle guide d'onda metalliche ideali. Effetti delle imperfezioni: attenuazione causata da dielettrico o conduttore non ideali; accoppiamento tra modi causato dalla geometria non ideale e sue conseguenze. I casi particolari delle guide d'onda rettangolari e circolari. Circuiti e linee equivalenti. Caratteristiche fondamentali della propagazione nelle guide dielettriche; la guida a lastra e la fibra ottica. Cenno sulle microstrip. Propagazione nei mezzi girotropici e giromagnetici; caso particolare del plasma e delle ferriti.

*Circuiti e sottosistemi* — Generalità sulle giunzioni a microonde. Teorema di reciprocità e teorema di Foster. Cavità risonanti ottenute utilizzando spezzoni di guida d'onda. Risonatori in guida dielettrica e a frequenza ottica. Utilizzazione circuitale delle cavità risonanti. Caratterizzazione delle giunzioni passive attraverso la matrice di diffusione. Descrizione e metodi di progetto delle giunzioni passive reciproche e non, di più comune uso, di due, tre e quattro porte. Cenno sul progetto dei filtri a costanti distribuite. Dispositivi a semiconduttore più adatti per le altissime frequenze. Convertitori, moltiplicatori e amplificatori parametrici. Progetto di oscillatori e amplificatori a basso rumore. Principi di funzionamento del MASER e del LASER. Principi di funzionamento degli amplificatori ad onda progressiva e degli oscillatori B.W.O.

*Sistemi di telecomunicazione* — Criteri di ottimizzazione dei sistemi ad onde millimetriche e a lunghezza d'onda ottica utilizzando la propagazione guidata. Il sistema di telecomunicazione a grande distanza e grande capacità in guida d'onda circolare. Sistemi di telecomunicazione in fibra ottica per piccole, medie e grandi capacità e distanze.

*Testo consigliato:*

C.G. SOMEDA, *Onde elettromagnetiche guidate*, Pitagora Editrice, Bologna.  
A completamento verranno forniti appunti informali.

L'esame consiste in una prova orale. Facoltativamente comprende la discussione di un progetto completato dal candidato a casa.

Le esercitazioni comprendono anche visite ai laboratori.

*Propedeuticit  essenziali* sono i corsi di "Campi elettromagnetici e circuiti I", "Comunicazioni elettriche I", "Elettronica applicata I".

Le *Tesi di laurea* sono o sperimentali o basate sull'applicazione dell'elaboratore elettronico a problemi di progetto.

1386

**MISURE ELETTRICHE**

Docenti: **Mario Rinaldi** prof. straordinario (Elettronici A-K)

**Antonio Menchetti** prof. incaricato stab. (Elettronici L-Z)

Il corso si propone di dare allo studente la metodologia per individuare e risolvere i problemi che si presentano nello studio sperimentale dei circuiti elettrici e i criteri per la valutazione e la scelta della strumentazione relativa.

*Programma*

Richiami e puntualizzazione delle nozioni di metrologia generale gi  note. Basi della metrologia elettrica. Caratteristiche funzionali degli strumenti e dispositivi di misura delle grandezze elettriche attive. Elementi di circuito, comportamento reale dei circuiti elettrici. Misura dei parametri dei circuiti e metodi generali per l'indagine sperimentale sui circuiti elettrici. Misure di tempo e frequenza. Strumentazione di base, analogica e numerica, con particolare riguardo agli amplificatori e ai convertitori di misura.

*Testi consigliati:*

Vengono fornite dispense fotocopiate.

*Propedeuticit  consigliate:*

Si ritengono *necessariamente* propedeutici i corsi di: Elettrotecnica I e Eletttronica applicata I.

Si consiglia agli studenti che non hanno gi  qualche precedente esperienza di laboratorio la frequenza alle *esercitazioni* facoltative organizzate dall'Istituto di Elettronica.

5803

**PROGETTAZIONE AUTOMATICA DEI CIRCUITI ELETTRONICI**

Docente: **Fabio Filicori**, prof. incaricato.

Il corso tratta delle tecniche e degli algoritmi per l'analisi e la progettazione automatica dei circuiti elettronici con l'uso sistematico del calcolatore elettro-

nico. La sua collocazione nell'indirizzo Microelettronica è motivata dalla sempre crescente complessità dei circuiti integrati che rende praticamente indispensabile al progettista la conoscenza di tecniche particolari orientate all'uso dei moderni mezzi di calcolo. Per l'indirizzo Telecomunicazioni il corso presenta particolare interesse data la necessità di ricorrere a metodi automatici di calcolo nella progettazione di circuiti attivi in alta frequenza.

Gli argomenti trattati costituiscono un insieme organico di interesse generale per il progettista di circuiti elettronici.

#### *Generalità*

Il calcolatore nella progettazione dei circuiti. Tecniche di interazione. Linguaggi per la descrizione dei circuiti e modalità di presentazione dei risultati dell'elaborazione.

#### *Circuiti lineari*

Formulazione automatica delle equazioni, algoritmi di connessione. Tecniche di soluzione di grandi sistemi, matrici sparse. Calcolo della sensibilità del circuito alle variazioni dei parametri: teorema di Tellegen e rete aggiunta. Analisi del rumore mediante la rete aggiunta.

#### *Circuiti non-lineari*

Analisi in regime stazionario ed in condizioni dinamiche: algoritmo di Newton-Raphson, formule di integrazione numerica e relativi equivalenti circuitali. Cenni sull'analisi di reti lineari a tratti. Analisi in regime periodico: tecniche di shooting e di bilancio armonico. Calcolo della distorsione.

#### *Ottimizzazione del circuito*

Definizione della funzione obiettivo in relazione alle specifiche di progetto. Funzioni obiettivo di tipo minimax. Vincoli sui valori dei parametri del circuito. Caratteristiche generali degli algoritmi in minimizzazione.

#### *Tolleranze dei componenti*

Assegnamento ottimale delle tolleranze in relazione alle specifiche di progetto ed al costo di produzione. Funzione costo e regione di accettabilità. Formulazione del problema del "caso peggiore" in termini di programmazione non-lineare. Metodi statistici e determinazione della resa di produzione con tecniche di Monte-carlo.

Sono previste *esercitazioni* al calcolatore con semplici esempi di analisi e progetto.

#### *Testi consigliati*

L.O. CHUA, P.M. LIN, *Computer-Aided Analysis of Electronic Circuits: Algorithms and computational methods*, Ed. Prentice-Hall.

Verranno forniti appunti informali tratti dalle lezioni.

*Propedeuticità consigliate*: Calcolo numerico e programmazione, Elettronica applicata I, Campi elettromagnetici e circuiti I.

L'*esame* consiste in una prova orale.

877

**RADIOTECNICA**Docente: **Giancarlo Corazza** prof. ord. (supplente)

Il corso si pone l'obiettivo di fornire le basi necessarie alla comprensione e al progetto di massima dei sistemi impiegati come tronchi di una rete di telecomunicazioni o come radioaiuti per i mezzi mobili, e facenti uso della propagazione libera di onde e.m..

*Programma*

Parte prima — *Antenne e propagazione.*

Generalità sulla tratta radio: richiami di ottica; propagazione troposferica; propagazione ionosferica; segnali indesiderati captati dalle antenne; cenni sulle antenne.

Parte seconda — *Generalità sui sistemi radio.*

Tipi di modulazione; apparati trasmettenti e riceventi; qualità di trasmissione; causa della degradazione della qualità; schemi di modulatori, demodulatori e convertitori di frequenza.

Parte terza — *Segnali e reti di radio comunicazione.*

Cenni sulle reti; richiami sui segnali telefonici multiplati e televisivi; generalità sui radiocollegamenti.

Parte quarta — *Ponti radio.*

Impianti troposferici per telefonia a grande e a media distanza; impianti troposferici per televisione; impianti intercontinentali via satellite artificiale.

Parte quinta — *Radioaiuti.*

Il radar come sensore di un sistema di sorveglianza; equazione del radar, impianti radar impulsivi e ad onda continua.

*Testi consigliati:*

*Corso di Radiotecnica*, Lezioni di F. Valdoni a cura di M. Mandrioli, Pitagora Editrice, Bologna.

L'esame consiste in una prova orale, con esposizione analitica di argomenti del programma del corso e discussioni sui compromessi che orientano la progettazione dei sistemi. Le *esercitazioni* riguardano prevalentemente alcuni approfondimenti e complementi della materia trattata nelle lezioni. Si consiglia di accedere al corso con adeguata preparazione nel campo dell'elettronica applicata, dell'elettromagnetismo, delle comunicazioni elettriche e, possibilmente, della teoria e tecnica dei circuiti a frequenza ordinaria e a microonda.

Le *Tesi di laurea* prevalentemente riguardano argomenti con aspetto applicativo.

5579

**RETI LOGICHE**Docenti: **Roberto Laschi** prof. straord. (Elettronici A-K)**Giovanni Neri** prof. inc. stab. (Elettronici L-Z)*Finalità del corso:*

Introduzione allo studio dei sistemi digitali, cioè di quella categoria di apparati nei quali le grandezze fisiche impiegate come segnali sono vincolate ad assumere due soli valori. In particolare il corso si occupa dei modelli matematici che consentono di interconnetterli in sistemi più complessi soddisfacendo di volta in volta le specifiche derivanti dalla particolare relazione ingresso/uscita assegnata.

*Programma*

Introduzione ai sistemi digitali: campi di applicazione, principi di funzionamento, problematica di progetto. I codici binari e la rappresentazione delle grandezze numeriche. I modelli delle reti che elaborano informazioni binarie.

Postulati e teoremi dell'algebra di commutazione. Circuiti di commutazione meccanici, elettromeccanici ed elettronici. I procedimenti di analisi e sintesi per reti combinatorie. 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. Tecniche di descrizione per sistemi complessi.

Principi di diagnostica e di tolleranza ai guasti: sequenze di prova, ridondanze statiche, ridondanze dinamiche.

*Testi consigliati:*

Dispense redatte dal docente.

HILL-PETERSON, *Introduction to switching theory and logical design*, John Wiley, 1974.

L'esame consiste in una prova scritta e in una successiva prova orale a carattere integrativo.

Le *esercitazioni* sono svolte in aula 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 intensivo.

*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: **Giorgio Carpaneto** prof. inc. stab.

Obiettivo del corso è di far conoscere i problemi risolubili con le tecniche della Ricerca Operativa approfondendo gli aspetti metodologico ed algoritmico. Verranno presentate applicazioni in campo industriale e sociale (dal problema reale all'analisi dei risultati).

Il corso è rivolto a studenti di qualsiasi specializzazione.

*Programma**Parte I - Problemi decisionali*

Generalità sulla *teoria delle decisioni* e sulla *programmazione matematica*.

*Programmazione lineare* - Interpretazione geometrica, proprietà delle soluzioni, forma canonica, algoritmo del simplesso, ricerca della soluzione base iniziale, degenerazione, molteplicità di soluzioni ottimali, dualità, l'algoritmo del simplesso duale.

*Applicazioni*: il problema della dieta e della raccolta di rifiuti solidi.

*Programmazione lineare parametrica e stocastica* (cenni).

*Parte II - Ottimizzazione combinatoria e Teoria dei Grafi*

*Complessità* (cenni).

Definizioni relative ai grafi orientati e non orientati.

Modelli matematici (min-sum e min-max) di *problemi polinomiali* e relativi algoritmi (albero ed arborecenza, assegnamento lineare, cammini minimi, flusso massimo con capacità associate agli archi).

*Applicazione*: scelta del minimo numero di vetture in grado di soddisfare un servizio di trasporto urbano.

Tecniche di *rilassamento lagrangiano e surrogato*.

*Tecniche enumerative e Branch and Bound*.

Modelli matematici di alcuni *problemi non polinomiali* e relativi algoritmi (ciclo e circuito hamiltoniano, assegnamento generalizzato, Knapsack multiplo).

I concetti di separazione (*branch*) e limitazione (*bound*), limiti inferiori (*lower*) e superiori (*upper*), l'albero delle decisioni, tecniche in serie ed in parallelo.

*Applicazioni*: ricerca della sequenza ottima di produzione di lavori associati ad una macchina in presenza di vincoli temporali, un problema di flusso a costo minimo con vincoli sui flussi.

*Matrici totalmente unimodulari*: problemi la cui soluzione ottima è certamente intera. L'algoritmo dei moltiplicatori per la risoluzione del *problema dei trasporti*.

*Programmazione lineare a variabili intere*. I principali problemi nei quali intervengono variabili intere booleane (vincoli in alternativa, lotti minimi di produzione, il problema del sacco (knapsack), ricerca di percorsi ottimi nei grafi, problemi di copertura, ecc....).

Algoritmi Branch and Bound e metodi basati sui *piani di taglio* per la risoluzione di problemi nei quali le variabili possono assumere valori interi qualsiasi.

*Tecniche reticolari* CPM e PERT per la programmazione dei lavori di un progetto (diagrammi di Gantt, cammini critici e subcritici, livellamento delle risorse, *tecnica Montecarlo* in alternativa alla tecnica PERT, ecc....).

*Localizzazione ottima* di servizi in un territorio (algoritmo di Hakimi).

*Applicazione:* il problema della localizzazione ottima di più centrali di teleriscaldamento (o cabine di decompressione di gas) in un'area urbana.

*Programmazione dinamica* (cenni).

*Problemi di schedulazione* di lavori a macchina (cenni).

### Parte III - Simulazione di sistemi discreti

*Complementi di statistica:* generazione di variabili aleatorie aventi un'assegnata distribuzione di probabilità: uniforme, normale, esponenziale, ecc....

Il metodo della trasformazione inversa, distribuzioni discrete.

Generalità sulla simulazione di sistemi discreti.

Validità degli esperimenti di simulazione, eliminazione della polarizzazione iniziale e della autocorrelazione, cenno sui principali linguaggi di simulazione per sistemi discreti.

Il SIMSCRIPT (linguaggio basato sulla programmazione degli eventi): concetti fondamentali.

Esempi a livello di diagramma di flusso: la stazione di servizio, un semplice sistema di calcolo, un problema di manutenzione, un problema di traffico urbano.

*Applicazione:* simulazione di una centrale telefonica.

#### *Testi consigliati:*

M.S. BAZARAA e J.J. JARVIS, *Linear Programming and Network flows*, J. Wiley, 1977.

N. CHRISTOFIDES, *Graph Theory: an algorithmic approach*, J. Wiley, 1978.

L. DABONI e altri, *Ricerca Operativa*, Zanichelli, Bologna 1975.

HILLER e LIEBERMANN, *Introduzione alla Ricerca Operativa*, Franco Angeli Editore, Milano 1973.

Appunti a cura del Docente.

*Esami:* è prevista una prova scritta ed una orale.

*Propedeuticità consigliate:* è utile (ma non indispensabile) aver seguito i corsi di Calcolo numerico e programmazione e di Statistica applicata.

Indirizzo delle *Tesi di Laurea:* essenzialmente problemi di ottimizzazione combinatoria.

6802

## SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

Docente: **Eugenio D'Anna** prof. inc. stab.

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.
- 7 - Elementi di calcolo strutturale automatico.

*Testi consigliati:*

- E. D'ANNA, *Appunti di Scienza delle Costruzioni*, Bologna, Coop. Libr. Univer.  
 M. CAPURSO, *Scienza delle costruzioni*, Bologna, Pitagora.  
 O. BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, Vol. I°, Bologna, Zanichelli.

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**

Docente: **Remo Rossi** prof. ord.

Il corso ha lo scopo di sviluppare uno studio dettagliato della architettura dei sistemi di calcolo, a partire dalla struttura dei componenti di base. La architettura del sistema verrà sviluppata in una continua interazione con le esigenze dettate da: caratteristiche operative dei componenti, software di base, software di gestione delle risorse del sistema di calcolo. Il corso si pone come base sia per lo studio delle caratteristiche specifiche dei grandi sistemi, che per l'impiego dei calcolatori in applicazioni specifiche.

*Programma*

Sistemi di calcolo.

1. — *Il principio di programma memorizzato.*

1.1 — Principio di base; 1.2. — Istruzioni in codice macchina e tecniche di programmazione — Formato delle istruzioni; 1.3 — Schema a blocchi e funzioni; 1.4 — Modalità di indirizzamento.

2. — *Elementi sui linguaggi.*

2.1. — Assemblativo; 2.2 — Linguaggio di programmazione di Iverson.

3. — *Richiami sulla Unità aritmetica.*

4. — *Organizzazione della unità di controllo.*

4.1 — Metodi operativi serie e parallelo; 4.2 — Modi operativi sincrono e asincrono; 4.3 — Circuiti logici usati nella C.U.; 4.4 — L'unità di controllo; 3.5 — Il concetto di microprogramma; 4.6 — Programmazione della C.U. microprogrammata.

5. — *Sistemi di memoria.*

5.1 — Caratteristiche fondamentali dei dispositivi di memoria; 5.2 — Memorie e nuclei, a semiconduttore e linea di ritardo; 5.3. — Sistemi a tamburo, a disco, a nastro; 5.4 — Organizzazione di sistemi a tamburo e disco; 5.5 — Organizzazione e struttura di sistemi di memoria.

6. — *Interrupt ad Ingresso/Uscita.*

6.1. — Sistema di interruzione con realizzazione software, con realizzazione mista, con realizzazione a priorità; 6.2. — Tecniche di trasferimento dati: via programma, buffer, DMA; 6.3 — Interconnessioni di I/O; 6.4. — Canali.

*Testi consigliati*

F.T. HILL, G.R. PETERSON, *Digital Systems: Hardware Organisation and Design*, J. Wiley N.Y. 1978.

Gli *esami* si articolano in una prova scritta ad una orale.

Il corso è integrato da 2 ore settimanali di *esercitazioni*.

Si ritiene indispensabile avere superato l'esame di Reti logiche.

2038

**STATISTICA APPLICATA**

Docente: Alberto Tonielli prof. inc.

Il corso ha come prerequisito principale i contenuti del corso di "Metodi di osservazione e misura".

Basandosi su di essi e facendo ricorso inoltre alle metodologie ed alle tecniche della Teoria delle code, della Teoria delle decisioni e della verifica delle ipo-

tesi, si propone di fornire i fondamenti per l'analisi tecnico-economica del progetto di apparati e di sistemi tipici di alcuni settori di interesse del corso di laurea in Elettronica.

In particolare, dopo opportuni richiami teorici, il programma del corso presenta in dettaglio l'impostazione e la soluzione, mediante modelli stocastici, di problemi di analisi e dimensionamento di sistemi tipici delle seguenti aree applicative:

- controllo di qualità della produzione ed analisi di mercato.
- analisi statistica e verifica di ipotesi nel settore biologico,
- dimensionamento di strutture sanitarie,
- valutazione delle prestazioni di sistemi di calcolo e trasmissione dati,
- affidabilità e disponibilità di sistemi costituiti da dispositivi interconnessi.

*Testi consigliati*

Dispense a cura del Docente.

L'esame consiste in una prova orale.

4152

### **STRUMENTAZIONE BIOMEDICA**

Docente: **Guido Avanzolini** prof. inc. stab.

Il corso si propone, nella I parte, di fornire quelle conoscenze metodologiche e tecniche essenziali per il progetto e l'impiego degli apparati di misura e di elaborazione di grandezze biologiche. Nella II parte del corso sono illustrati i principi di funzionamento e le applicazioni di alcuni organi artificiali.

*Programma*

Parte I: Sistemi di misura

Considerazioni generali sul sistema di misura e sua caratteristica statica e dinamica. Trasduttori resistivi di temperatura, velocità e pressione; cenni di termografia. Trasduttori piezoelettrici: flussimetri ad ultrasuoni e cenni di ecografia. Trasduttori fotoelettrici: fotometri, ossimetri e platismografi. Trasduttori elettrochimici. Elettrodi superficiali e microelettrodi. Preamplificatori. Registratori a carta e registratori magnetici.

Parte II: Organi artificiali

Il rene artificiale: cenni di fisiologia renale, l'unità di dialisi, problemi di controllo del trattamento. Protesi per arto superiore: protesi passive, protesi attive. Protesi mioelettrica.

*Testi consigliati*

G. AVANZOLINI, *Strumentazione biomedica*, Patron Editore Bologna 1975.

R.S.C. COBBOLD, *Transducers for biomedical measurement: principles and applications*, Wiley and Sons NY 1974.

*Esercitazioni* parallele allo svolgimento del corso.

*Propedeuticità consigliate*: Tutti i corsi del 3° e 4° anno.

5574

### **TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO**

Docente: **Giovanni Marro** prof. ord. (inc.)

#### *Finalità del corso*

Illustrazione delle applicazioni dei più importanti componenti elettromeccanici ed elettronici (compresi i circuiti integrati lineari e logici) a problemi di strumentazione, filtraggio, elaborazione e smistamento dati (escluso il calcolo) e controllo.

#### *Programma*

1. Strumentazione dei sistemi di controllo: descrizione e illustrazione delle modalità di impiego dei principali componenti la strumentazione elettronica, pneumatica e meccanica dei sistemi di controllo.

2. Impiego dei circuiti integrati lineari nella strumentazione e nel controllo: caratteristiche ed esempi tipici di impiego di amplificatori operazionali, amplificatori per strumentazione, buffers, circuiti di campionamento e tenuta; progetto e realizzazione di filtri e reti correttivi.

3. Convertitori D/A e A/D: descrizione dei principali tipi di convertitori ed illustrazione delle loro modalità di impiego; codificatori numerici diretti, resolver, inductosyn e codificatori incrementali.

4. Elaborazione numerica e trasmissione dei dati su linee: Interfaccia fra calcolatori e strumentazione; realizzazione di filtri e reti correttivi numeriche.

5. Controllo numerico delle macchine utensili: inquadramento della problematica e cenno alle principali soluzioni tecnologiche.

#### *Propedeuticità consigliate*

Si ritengono *necessariamente* propedeutici i corsi di: Elettrotecnica I e II, Elettronica applicata I, Teoria dei sistemi, Controlli automatici, Reti logiche.

#### *Testi consigliati*

Verranno fornite dispense da fotocopiare

1048

**TECNOLOGIE ELETTRONICHE**

Sostituito a tutti gli effetti, per il corrente a.a., dall'insegnamento (5702) **MICROELETTRONICA**.

4115

**TEORIA DEI SISTEMI**

Docenti: **Roberto Guidorzi** prof. straordinario. (Elettronici A-K)

**Sergio Beghelli** prof. incaricato. (Elettronici L-Z)

Il corso presenta e discute gli aspetti matematici e i principali algoritmi di analisi relativi allo studio dei sistemi dinamici fornendo una base per i corsi successivi sui controlli automatici e sui calcolatori.

*Programma**Nozioni generali sui sistemi*

Definizione di sistema, classificazione dei sistemi. I sistemi dinamici come enti matematici. Controllabilità-raggiungibilità ed osservabilità-ricostruibilità dei sistemi dinamici. Esempi.

*I sistemi a stati finiti*

Modelli dei sistemi a stati finiti. Richiami su partizioni, reticoli ed algebre di Boole. Rappresentazioni con tabelle e grafi di transizione. Controllabilità-raggiungibilità. Stati equivalenti, sistemi equivalenti e riduzione alla forma minima. Osservazione dello stato e diagnosi. Ricostruzione dello stato finale ed incasellamento. Sistemi a memoria finita.

*I sistemi a stato vettore*

Spazi vettoriali, sottospazi e basi. Spazi normati. Modelli di sistemi dinamici a dimensioni finite. Stabilità dei sistemi dinamici. Il metodo diretto di Liapunov.

*Introduzione ai sistemi lineari*

Trasformazioni lineari, matrici e proiezioni. Principali proprietà delle matrici. Autovalori, autovettori, forme canoniche, forme quadratiche e norme di matrice.

*I sistemi lineari*

Definizione di sistema lineare. Matrice di transizione. Controllabilità-raggiungibilità, osservabilità-ricostruibilità e stabilità dei sistemi lineari. I sistemi lineari stazionari. Polinomio minimo, funzioni di matrice. Operazioni sui sottospazi, sottospazi invarianti. Sistemi lineari stazionari continui: calcolo dell'esponenziale di matrice. Sistemi lineari stazionari discreti: calcolo della potenza di matrice. Modi dei siste-

mi. Controllabilità-raggiungibilità, osservabilità-ricostruibilità e stabilità dei sistemilneari stazionari. Scomposizione canonica di Kalman. Applicazioni della forma di Jordan. Rappresentazioni di ingresso-uscita. Relazioni fra le rappresentazioni nello spazio degli stati. Stabilizzabilità ed assegnamento dei poli per un sistema dinamico lineare e stazionario. Il regolatore di Kalman. Osservatori dinamici dello stato.

Le *esercitazioni* sono parte integrante del corso e comprendono la descrizione di una biblioteca modulare di programmi per la risoluzione di problemi di analisi e sintesi dei sistemi dinamici.

#### *Testi consigliati*

- G. MARRO, *Fondamenti di Teoria dei Sistemi*, Pàtron Editore, Bologna, 1979.  
 S. BEGHELLI e R. GUIDORZI, *Teoria dei Sistemi: Esercizi e Programmi FORTRAN*, Pàtron Editore, Bologna, 1978.  
 J.L. CASTI, *Dynamical System and their Applications: Linear Theory*, Academic Press, New York, 1977.  
 R. KALMAN, P. FALB e M. ARBIB, *Topics in Mathematical System Theory*, Mc Graw-Hill, New York, 1969.

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, diretto e mediante l'uso di sottoprogrammi, di esercizi.

*Propedeuticità consigliate*: Calcolo numerico e programmazione, Complementi di matematiche.

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 del biennio:

- 1351 Analisi matematica I
- 1355 Analisi matematica II
- 1359 Chimica
- 1364 Disegno
- 1368 Fisica I
- 1373 Fisica II
- 1376 Geometria
- 1380 Meccanica razionale.

e per le seguenti materie del triennio di applicazione:

- 196 Controlli automatici
- 6797 Fisica tecnica
- 6800 Idraulica
- 6801 Scienza delle costruzioni

v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica.

4501

**CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE**

Docente: **Lodovico Ambrosini** prof. inc. stab.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica)

2046

**CHIMICA FISICA DEI MATERIALI NUCLEARI**

Docente: **Dario Nobili** prof. inc. stab.

Il corso si propone di pervenire a trattare quantitativamente l'equilibrio nei sistemi mono e polifasici in funzione delle variabili T, P, C, nonché la velocità dei processi che conducono all'equilibrio medesimo. Esso fornisce le basi di Termodinamica e Cinetica dei processi, che consentono di trattare problemi di stabi-

lità e compatibilità dei materiali e l'evoluzione delle loro proprietà in esercizio nel reattore.

### *Programma*

Applicazioni del I principio della Termodinamica: Entalpia Standard di formazione. Effetti termici connessi a reazioni chimiche, formazione di soluzioni e trasformazioni di fase.

Esempi di calcolo ed impiego delle Tavole.

Interpretazione statistica dell'entropia. Applicazione al calcolo dell'entropia di miscela e dell'entropia configurazionale di cristalli.

Alcuni confronti tra Termodinamica classica e statistica.

III Principio della Termodinamica. Derivazione classica e statistica. Entropia Standard di formazione. Determinazione della variazione di entropia in reazioni chimiche.

Equilibri nei sistemi ad un solo componente: equazione di Clapeyron. Tensione di vapore di stati condensati e dipendenza dalla temperatura e dalla pressione di un gas inerte.

Energia libera Standard di un processo e costante di equilibrio.

Fugacità ed attività. Equilibri di ossidazione: diagramma di Ellingham. Applicazione a vari problemi metallurgici e di compatibilità.

Temperatura di dissociazione di ossidi. Riduzione in corrente di gas.

Quantità parziali molari. Soluzioni ideali, soluzioni non ideali diluite. Teorema di Gibbs e equilibrio nei sistemi polifasici. Solubilità. Dipendenza della solubilità da effetti di superficie, equazione di Thomson-Freundlich.

Struttura cristallina e difetti reticolari. Difetti in equilibrio termodinamico: vacanze ed interstiziali, difetti di punto complessi. Difetti di superficie e dislocazioni. Proprietà fisiche che dipendono notevolmente dai difetti reticolari. Cenni di teoria della velocità dei processi. Effetti cinetici connessi alla presenza di difetti reticolari: cinetica di trasformazione di fase. Nucleazione e crescita. Cinetica di diffusione. Influenza della densità di difetti e della stabilità chimica sulle proprietà meccaniche di materiali polifasici. Rinvenimento dei difetti indotti dalla temperatura, dalla deformazione plastica e dall'irraggiamento.

Diffusione: Leggi di Fick. Diffusione da sorgente finita ed infinita. Fattori che influenzano il coefficiente di diffusione. Meccanismi elementari di diffusione. Diffusione nelle regioni di disordine strutturale.

### *Testi consigliati*

R.A. SWALIN, *Thermodynamics of Solids*, J. Wiley & Sons 1967.

A.H. COTTRELL, *Le moderne teorie della Scienza dei Metalli*, R. Patron, Traduzione italiana di "Theoretical Structural Metallurgy" E. Arnold.

Dispense del corso.

*Esercitazioni pratiche su argomenti di strutturistica e analisi dei difetti reticolari.*

*Esami orali su due argomenti a scelta del candidato.*

*Tesi di laurea:* Tecniche di analisi chimica mediante attivazione neutronica o back scattering di protoni. Studio di difetti reticolari. Problemi connessi alla solubilità. Cinetiche di trasformazione di fase nei solidi, dei processi di ripristino della struttura cristallina (annealing) e di diffusione nei solidi cristallini.

6466

### **CICLO DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE**

Docente: **Gianfranco Cicognani** prof. inc. stab.

Il corso si propone di fornire le basi necessarie alla comprensione degli aspetti fondamentali del ciclo del combustibile dei reattori nucleari, con particolare riferimento ai processi subiti dal combustibile nel ciclo "esterno" al reattore.

#### *Programma*

— Il ciclo del combustibile nei reattori di potenza. Trattazione matematica generalizzata del bilancio del materiale combustibile nel caso di un reattore singolo e di una filiera di reattori. Influenza delle principali caratteristiche del nocciolo (potenza specifica, tasso di combustione, periodo di funzionamento continuo, tipo di reticolo, ecc.) e degli impianti ausiliari (tempi di fabbricazione e ritrattamento, trasporti) sul ciclo del combustibile dei reattori termici e veloci. Calcolo del costo del ciclo. Criteri di ottimizzazione del ciclo del combustibile in tipici reattori termici e veloci. Ciclo del combustibile in un reattore ad acqua leggera con o senza riutilizzo del plutonio prodotto: scelta dell'incamiciatura ottimale per la barretta (Zircaloy o acciaio inox). Il ciclo del combustibile in un reattore veloce: il bilancio del plutonio. Relazione tra "breeding" e produzione del plutonio.

— L'arricchimento isotopico dell'uranio: processi industriali. Arricchimento per diffusione gassosa: teoria generale del processo. Potere separante di un diffusore. La cascata ideale: calcolo del numero degli stadi e della portata interna. Il concetto di "funzione valore" e di "lavoro separativo". Studi di ottimizzazione sul processo a diffusione. Cenni sulle cascate quadrate. Arricchimento per centrifugazione: principi generali e confronto tecnico-economico col processo per diffusione.

— Processi di fabbricazione del combustibile nucleare. Combustibili a base di  $UO_2$  e di  $(Pu, U)O_2$ . Produzione delle polveri e delle pastiglie. Termodinamica dei processi di fabbricazione degli ossidi misti. Legami tra progetto dell'elemento e specifiche col processo di fabbricazione. Fabbricazione delle barrette e processi di assemblaggio. Caratteristiche di una linea di fabbricazione di elementi a base di  $(U, Pu)O_2$ . Fabbricazione di elementi HTR.

— Il ritrattamento del combustibile irraggiato: criteri di scelta dei processi. Processi per via umida: cenni sulla teoria dell'estrazione liquido-liquido. Estrazione con solventi organici degli elementi attinidi: termodinamica dei processi di estrazione. Processi Purex, Redox e Thorex: dimensionamento di massima degli impianti. Ritrattamento per via secca: processi pirometallurgici e processi per volatilizzazione. Teoria termodinamica dei processi pirometallurgici applicati ad un combustibile ceramico. Considerazioni tecnico-economiche sui vari tipi di processi.

— Eliminazione dei rifiuti radioattivi. Natura, origine ed entità dei rifiuti e loro classificazione. Gestione e condizionamento dei rifiuti radioattivi a bassa, media ed alta attività. "Bruciamento" dei rifiuti radioattivi in reattori termici e veloci. Smantellamento degli impianti nucleari. Cenni sull'analisi "rischi-benefici". Considerazioni sul trasporto dei materiali radioattivi, con particolare riferimento ai combustibili irraggiati ed ai rifiuti ad alta attività.

*Testi consigliati:*

L. BRUZZI, G. CICOGNANI, G. DOMINICI, *Il ciclo del combustibile nei reattori nucleari*, Edizioni C.N.E.N. Serie trattati, Roma (Viale Regina Margherita 125).

*Propedeuticità consigliate:*

Chimica fisica dei materiali nucleari; Chimica nucleare (che sviluppa compiutamente alcune premesse indispensabili).

*Tesi di Laurea* sperimentali e di progettazione (8-12 mesi) presso il Dipartimento Reattori Veloci del CNEN. Argomenti essenzialmente centrati sul combustibile e, più in generale, sul nocciolo dei reattori veloci.

6471

**CODICI DI CALCOLO PER REATTORI NUCLEARI**

Docente: **Arnaldo Chiarini** prof. inc. stab.

Il corso si propone di fornire allo studente una preparazione di base relativa alla programmazione di elaboratori elettronici ed ai problemi numerici connessi al calcolo scientifico nelle discipline dell'Ingegneria Nucleare.

*Programma*

Struttura degli Elaboratori: elettronici, unità centrale, memorie di lavoro e di massa, unità periferiche. Sistemi operativi: loro funzione e loro componenti. Generalità sui linguaggi di programmazione: compilatori loaders. Biblioteche di programmi. Studio dettagliato del linguaggio Fortran con esercitazioni. Analisi numerica con esempi di applicazione all'Ingegneria Nucleare. Errori. Valutazione nume-

rica di radici di equazioni. Valutazione numerica di integrali definiti. Algebra lineare: soluzione numerica di sistemi di equazioni lineari, inversione di matrici, calcolo di autovalori di matrici. Soluzione numerica di equazioni e sistemi di equazioni differenziali alle derivate ordinarie a valori iniziali. Soluzione numerica di equazioni differenziali alle derivate parziali di tipo iperbolico, parabolico, ellittico. Metodo di Montecarlo. Codici nucleari.

#### *Testi consigliati*

P. RIDOLFI, *Il Fortran - Teoria ed Esercizi*, Franco Angeli Editore, Milano.

*Esami orali.* Oltre allo svolgimento della normale prova orale sulla materia svolta, verrà valutato anche un programma di calcolo completo che lo studente abbia eventualmente elaborato o contribuito ad elaborare nell'ambito di un lavoro di gruppo. Tale programma sarà relativo ad un tema concordato con l'insegnante del corso.

*Tesi di laurea:* Metodologia di programmazione e metodi numerici nel calcolo scientifico con particolare riguardo all'Ingegneria Nucleare.

2826

### **COMBUSTIBILI NUCLEARI**

Docente: **Luigi Bruzzi** prof. inc. stab.

Il corso si propone di dare gli elementi e la metodologia di approccio per lo studio del comportamento del combustibile durante l'irraggiamento, evidenziando i legami che tale comportamento ha con la scelta dei materiali, col progetto e le specifiche di fabbricazione dell'elemento di combustibile e con le rimanenti fasi del ciclo del combustibile.

#### *Programma*

Il ciclo del combustibile nelle centrali termiche convenzionali ed in quelle nucleari. Processi di conversione e fertilizzazione. Il ciclo del combustibile in pila e fuori pila.

Criteri di scelta e principali caratteristiche dei materiali interessanti il 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. Ciclo uranio-torino 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. Fenomeni di redistribuzione: leggi fenomenologiche. Migrazione dell'uranio e del plutonio. Migrazione dell'ossigeno. Migrazione dei prodotti di fissione. Migrazione della porosità. Rigonfiamento e scorrimento viscoso. Effetto dell'irraggiamento sul materiale di guaina. Interazioni fra particelle e materia. Reazioni nucleari indotte ed effetti chimici. Fenomenologia microscopica. Effetti dell'irraggiamento sulle proprietà fisiche e meccaniche. Effetti dell'irraggiamento sulla densità. 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 nei reattori nucleari*, CNEN, 1976.

*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 del comportamento in pila degli elementi di combustibile.

4127

## COMPLEMENTI DI NEUTRONICA

Docente: **Vincenzo Molinari** prof. ord.

Il corso si propone un duplice scopo: 1) fornire gli elementi di meccanica statistica dei sistemi non in equilibrio al fine di approfondire la conoscenza degli aspetti fondamentali dei processi di trasporto; 2) trattare alcuni problemi di Fisica del Reattore necessari per una migliore comprensione dei fenomeni fisici connessi con la progettazione neutronica di un reattore nucleare.

*Programma*

Elementi di meccanica statistica dei processi di trasporto.

Spazio delle fasi e insiemi rappresentativi. Densità di probabilità nello spazio delle fasi. Funzioni di distribuzione ridotte. Valori medi. Teorema di Liouville.

Equazione 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 neutroni 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**

Docente: **Pier Gabriele Molari** prof. straord. (inc.)

Finalità del corso: il corso si propone di mettere l'allievo in grado di calcolare gli organi di macchina.

*Programma*

- Richiamo di strumenti matematica.
- 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-KRIEGER, *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 applicata alle macchine e Scienza delle costruzioni.

205

### **COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE**

Docente: **Giulio Piazzi** prof. inc. stab.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica)

4128

### **COSTRUZIONI NUCLEARI**

Docente: **Sergio Curioni** prof. straord.

Il corso si propone di fornire allo studente le conoscenze di base per la pro-

gettazione termostrutturale dei componenti meccanici di un impianto nucleare. A tale scopo vengono approfondite le conoscenze sui materiali, sulla normativa di progetto, nonché sulle particolari sollecitazioni termomeccaniche a cui un componente è soggetto; sono analizzate anche le moderne metodologie di calcolo di queste strutture.

#### *Programma*

- 1 - Considerazioni generali sui reattori nucleari.
- 2 - Materiali per le costruzioni nucleari.
- 3 - Normativa (Norme ASME, progettazione dei componenti nucleari ad alta temperatura  $T > 400^{\circ}\text{C}$ .)
- 4 - Tensioni termiche (Equazioni fondamentali della termoelasticità, esame di alcune strutture in stazionario, tensioni termiche in transitorio)
- 5 - Il calcolatore digitale nella soluzione di problemi strutturali (Il metodo degli elementi finiti, principali programmi agli elementi finiti oggi in uso)
- 6 - Plasticità (Considerazioni generali, analisi di una trave, relazioni tensioni-deformazioni in caso triassiale)
- 7 - Scorrimento viscoso (La risposta dei materiali alle alte temperature, esempi di calcolo di strutture)
- 8 - Sollecitazioni dinamiche (di origine esterna ed interna, metodi di studio delle strutture soggette a terremoti, incidenti nel nocciolo di un reattore).

#### *Testi consigliati*

- R.W. NICHOLS, *Pressure Vessel Engineering Technology*, Ed. Elsevier, A.S.M.E. Sec. III
- F. CESARI, *Il metodo degli elementi finiti nei problemi termostrutturali*, Ed. Pitagora
- Z. ZUDANS, *Thermal stresses in nuclear industry*, Ed. Elsevier.

Vengono svolte *esercitazioni* su argomenti specifici (esame dei problemi di progetto del nocciolo di un reattore, schermi termici e neutronici posti all'interno del vessel di un reattore, tappo di chiusura del vessel di un reattore veloce, applicazione del metodo degli elementi finiti al calcolo di strutture).

*Esami orali.*

#### *Propedeuticità consigliate:*

Scienza delle costruzioni, Meccanica delle macchine, Costruzioni di macchine.

6469

**ELEMENTI DI INGEGNERIA DEL REATTORE NUCLEARE**Docente: **Ferrante Pierantoni** prof. inc. stab.*Programma*

## 1) Progettazione dei reattori nucleari.

Generalità sulla progettazione dei reattori — Definizioni — Classificazione — Progetto concettuale — Criteri di progetto e valutazioni iniziali — Studi parametrici — Progetto di riferimento e suo sviluppo — Condizioni di sicurezza — Programma di accertamento della qualità durante la progettazione, costruzione e collaudo dei componenti.

## 2) Progettazione neutronica dei reattori.

Introduzione al calcolo neutronico dei reattori termici e veloci — Rapporto di conversione e breeding — Media delle sezioni d'urto — Burn-up e vita del reattore: refueling — Effetti di reattività: effetto di temperatura; effetto Doppler; effetto di vuoto — Progetto nucleare di un reattore termico.

## 3) Progettazione dell'elemento di combustibile.

Distribuzione della potenza — Generalità sugli elementi di combustibile — Combustibili liquidi — Combustibili solidi — Guaine — Barrette — Fascio di barrette — Fattore di canale caldo — Il problema dei gas di fissione.

## 4) Progetto degli schermi neutronici e gamma.

Considerazioni generali sul problema dello schermaggio nei reattori nucleari — Unità fondamentali di radiazione e dosi massime. Metodi di calcolo e codici come mezzi per il progetto — Criteri di dimensionamento termico degli elementi schermanti — Scelta dei materiali schermanti ed effetti delle radiazioni sui materiali — Descrizione di sistemi schermanti nei reattori veloci.

## 5) Sicurezza degli impianti nucleari.

"Public acceptance", — Siti e densità popolazione circostante — Regime giuridico degli impianti nucleari con particolare riguardo alla sicurezza nucleare ed alla protezione sanitaria — Analisi di sicurezza di un impianto nucleare — Criterio massimo incidente credibile/Criterio di Farmer — Gli eventi naturali — Aspetti della sicurezza delle centrali — Il problema principale per i reattori ad acqua — "L'Emergency Core Cooling Systems".

## 6) Programmazione.

Elaboratori e sistema operativo — Concetti generali di programmazione — La programmazione FORTRAN e sue applicazioni — Sistema di programmazione tipo PERT e CPM.

271

**ELETTRONICA NUCLEARE**Docente: **Vito Antonio Monaco** prof. ord.

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*

VITO A. MONACO, *Elettronica Applicata*.

VITO 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.

6793

**ELETTROTECNICA (per Chimici, Minerari e Nucleari)**Docente: **Maria Laura Ambrosini** prof. inc. stab.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Chimica).

406

**FISICA ATOMICA**Docente: **Arnaldo Uguzzoni** prof. inc. stab.

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 re-

latività (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. Postulati 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 semi-classiche. 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* (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 conigliate:*

Fisica I, Fisica II, Meccanica razionale.

409

**FISICA DEL REATTORE NUCLEARE**Docente: **Vinicio Boffi** 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. 1, parte I° e 2°, Patron, Bo. 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. inc. stab.

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. inc. stab.

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 nu-

cleari, lo smaltimento e/o lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi.

*Testi consigliati* (in relazione alla disponibilità in biblioteca e per consultazione)

EL WAKIL, *Nuclear power engineering*.

GLASSTONE, *Principles of Nuclear Reactor Engineering*.

POULTER, *The Design of Gas-cooled Graphite Moderated Reactors*.

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

## MACCHINE

Docente: **Giorgio Negri di Montenegro** prof ord.

Il corso si propone in primo luogo di fornire all'allievo ingegnere nucleare la metodologia di base per la comprensione dei fenomeni termofluidodinamici che avvengono nelle macchine motrici ed operatrici delle centrali di potenza convenzionali e nucleari. Questa indagine è strettamente correlata allo studio dei principali cicli a vapore, a gas, a fluidi pesanti e misti, già in uso o di prevista realizzazione in un prossimo futuro.

In un secondo tempo vengono individuate le grandezze e dedotte le curve caratteristiche delle predette macchine al fine di rendere definito il loro campo di utilizzazione e le loro prestazioni. Ciò richiede lo studio preliminare della loro costituzione e del loro modo di funzionare.

*Programma*

- I generatori di vapore: la combustione; l'estrazione del calore dai fumi ed il rendimento del generatore; architettura dei generatori di vapore.
- I generatori nucleari: il reattore a gas; il reattore ad acqua leggera; il reattore ad acqua pesante; i reattori veloci.
- La condensazione: condensatori a miscela e a superficie.
- I cicli degli impianti a vapore, semplici e misti. I cicli a gas a compressione semplice e polifase.
- Turbine a vapore: ad azione, a reazione, miste e a doppio flusso.
- Cicli e macchine frigorifere. I compressori di gas.
- Le turbine idrauliche; Pelton, Francis, elica e Kaplan.
- Le pompe centrifughe. Impianti di pompaggio.
- Motori a combustione interna: a carburazione; diesel.

*Propedeuticità consigliate:* Fisica tecnica, Scienza delle costruzioni, Meccanica delle macchine.

*Testi consigliati*

- G. MORANDI, *Macchine ed apparecchiature a vapore e frigorifere*, Ed. Pitagora, Bologna.
- S. FABBRI, *Appunti di Meccanica applicata alle macchine e macchine*, Ed. Pàtron, Bologna.
- Macchine seconda parte*, Ed. Pitagora, Bologna.
- M.M. EL-WAKIL, *Nuclear power engineering*, McGraw-Hill, 1962.

665

**MACCHINE E IMPIANTI ELETTRICI**Docente: **Francesco Negrini** prof. inc. stab.

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 alle macchine ed impianti elettrici presenti nelle convenzionali centrali termoelettriche, nelle centrali nucleari di tipo provato e negli impianti nucleari di tipo avanzato. Verranno inoltre illustrati i problemi relativi all'economia dell'energia ed i concetti generali sulla produzione ed il trasporto dell'energia elettrica con particolare riferimento all'esercizio della rete elettrica italiana.

*Programma*

- 1) *Richiami di teoria dei circuiti*: Circuiti elettrici in corrente continua – Circuiti magnetici – Circuiti elettrici in corrente alternata – Circuiti in fase transitoria.
- 2) *Funzionamento delle macchine elettriche* in regime permanente e in fase transitoria: Trasformatori – Macchine asincrone – Macchine sincrone – Turboalternatori per Centrali nucleari – Macchine a corrente continua – Convertitori statici.
- 3) *Impianti elettrici*  
Elementi che caratterizzano la produzione e la trasmissione.  
Componenti di un impianto.  
Linee e rifasamento.  
Apparecchi di manovra, di regolazione, di protezione.  
Circuiti principali e circuiti secondari delle Centrali Elettriche.  
Schema elettrico di una centrale elettronucleare.
- 4) *Macchine e Impianti elettrici speciali*  
*Elementi di economia dell'energia*: Esigenze d'energia e fonti d'energia – Consumi – Diagramma di carico – Modo di coprire i diagrammi di carico con sistemi elettrici convenzionali e con sistemi elettrici non tradizionali.  
*Elementi di ingegneria magnetofluidodinamica*: Proprietà dei gas ionizzati in campi elettrici e magnetici – Generatori MHD di corrente continua e di corrente alternata in Ciclo Chiuso, in Ciclo Aperto e in Ciclo Misto – Principio di funzionamento dei Reattori a Fusione a confinamento magnetico iniziale e ibrido.

*Testi consigliati per consultazione*

- 1) F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica Generale*.

- 2) S. CREPAZ, *Macchine elettriche*.
- 3) N. FALETTI, *Impianti elettrici*.
- 4) LEVI-PANZER, *Electromechanical Energy Conversion*.
- 5) SUTTON-SHERMAN, *Engineering Magnetohydrodynamics*.

*Propedeuticità consigliata:* Elettrotecnica I.

Gli esami si svolgono con appelli settimanali.

Durante il Corso si svolgono numerose *esercitazioni* numeriche ed anche esercitazioni sperimentali sia nei Laboratori dell'Istituto di Elettrotecnica sia nei Laboratori di Ingegneria Nucleare di Montecuccolino, quando è possibile.

A fine anno si svolgeranno visite tecniche guidate ai Laboratori Nazionali Gas Ionizzati del CNEN di Frascati, compatibilmente con la disponibilità finanziaria della Facoltà.

*Tesi di Laurea:* gli argomenti disponibili vengono esposti all'inizio di ogni Anno Accademico, nella apposita bacheca.

2631

## MECCANICA DELLE MACCHINE

Docente: Alberto Maggiore prof. straord. (inc.)

*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:*

FUNAIOLI E., *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 relativa ad un esercizio.

730

**MISURA DELLE RADIAZIONI E PROTEZIONE**

Docente: Paolo Amadesi prof. inc. stab.

*Programma**Parte I - Tipi di radiazione:*

Alfa, beta, gamma, neutroni lenti e veloci, protoni, deutoni, particelle pesanti. Interazione con la materia, range dei materiali, classificazione energetica.

*Sorgenti di radiazione:*

Alfa, beta, gamma, neutroni, particelle pesanti, emissione, decadimento, produzione, caratteristiche fisico-chimiche.

*Unità di dose:*

Dose di esposizione: roentgen. Dose assorbita: rep, rad, rem, RBE, LET, fattori di qualità.

*Irradiazione dell'organismo:*

Irradiazione esterna ed interna, organi critici, calcolo di MBB, di  $MCP_{aria}$ ,  $MCP_{water}$ ; calcolo di dose accumulata,  $R_{50}$ , rapporto flusso/intensità di dose.

*Massime dosi permesse:*

Professionale, occasionali, popolazione; corpo intero e organi particolari; dosi eccezionali concordate; dosi da incidente. Legislazione nucleare.

*Dosi da incidenti tipici di impianto:*

Emissione gassosa continua, da incidente. Calcolo impianto di ventilazione di laboratori attivi. Intake accidentale e valutazione dose in organo critico.

*Prodotti di fissione:*

Catene di decadimento. Calcolo accumulo componenti. Attività totale miscela nel tempo.

*Parte II - Misura delle Radiazioni.**Interazioni con la materia:*

Gamma: effetto fotoelettrico, Compton, produzione di coppie. Elettroni: range, attenuazione. — Principio di Bragg-Gray. — Neutroni: sezioni microscopica e macroscopica di interazione, scattering elastico ed anelastico, cattura radiativa, attivazione, fissione. Particelle pesanti: ionizzazione, eccitazione.

*Metodi di rivelazione:*

Fisici, chimici, calorimetrici.

*Sistemi di rivelazione:*

Camere a gas, contatori a scintillazione, a stato solido, dosimetri fotografici e chimici.

*Statistica dei sistemi di rivelazione:*

Teoria della probabilità, dispersione quadratica media, errore di misure singo-

le e di media, errore medio della media, distribuzione gaussiana e Poissoniana.

*Camere di ionizzazione:*

Teoria; a piatti paralleli — anello di guardia — particolari costruttivi, efficienza ai gamma. Ad aria libera o a gas in pressione.

*Contatori Geiger:*

Per beta — formazione dell'impulso, caratteristica, calcolo efficienza, dipendenza energia, catena di conteggio, spegnimento scarica.

Per gamma — determinazione efficienza.

*Contatori proporzionali:*

Caratteristica — uso integrale, analisi di impulsi.

*Rivelatori a scintillazione:*

Teoria scintillatori, scintillatori per beta, gamma, alfa, fotomoltiplicatori, fotocatodo, montaggio integral-lines, efficienza globale e parziale, alimentazione, spettrogramma, beta, alfa.

*Emulsioni fotografiche:*

Caratteristiche — dipendenza dall'energia per gamma, X, neutroni veloci; sistema Hurst; dosimetria personale.

*Rivelazione dei neutroni:*

Misura diretta, a protoni di rinculo, a reazione nucleare; camere a Boro-10 a ionizzazione, proporzionali. Camere a fissione, long-counters, rivelatori a stato solido.

Misura indiretta: a radioattività indotta; metodo a fogli sottili con cadmio. Rivelatori a soglia. Spettrometria neutronica a gruppi di energia. Dosimetria di criticità.

Parte III - *Schermature.*

*Rischi da irradiazione:*

Concetto di rischio, probabilità di dose, dose singola e cumulativa, analisi funzionale impianti, fisica sanitaria (concetti). Valutazione rischi, verifica dispositivi di protezione, controllo periodico sicurezza e protezione, calcolo e misura dosi. Statistiche dosimetriche, norme di schermaggio.

*Materiali di schermaggio:*

Per gamma, beta, neutroni lenti e veloci. Ferro, alluminio, piombo, calcestruzzi leggeri e pesanti al ferro, al serpentino, baritico, al Boro. Coefficienti di assorbimento, di scattering, di coefficienti di Build-up, sezioni d'urto di rimozione, lunghezza di rilassamento.

*Trasformazione di geometria degli schermi:*

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  $\text{BF}_3$  — caratteristica delle camere a ionizzazione e taratura — Taratura di contatore a  $\text{BF}_3$  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: **Tullio Trombetti** prof. straord.

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, controeazioni di reattività dovute ai più importanti effetti fisici, sistema di controllo...), allo studio delle escursioni di potenza che sta alla base dei problemi di sicurezza trattati in altri corsi (es. Misura delle radiazioni e protezione).

### Programma

Reazione di fissione a catena controllata e parametri cinetici. Vita media e coefficiente di moltiplicazione effettivo. Derivazione integrale delle equazioni della cinetica neutronica secondo il modello puntiforme. Proprietà e metodi di risoluzione.

Metodi statici e dinamici per la determinazione sperimentale di reattività. Calibrazione di barre di controllo presso il Laboratorio di Ingegneria Nucleare. Problemi di cinetica a reattività variabile.

Leggi di controeazione di reattività. Escursioni di potenza con inserimenti di reattività a gradino e a rampa. Escursioni di Bethe-Tait in reattori veloci.

Funzioni di trasduzione dei reattori nucleari. Analisi di stabilità lineare: effetto dei neutroni ritardati.

Sistemi di controllo per reattori nucleari. Controllo del reattore nucleare durante l'avviamento e a bassa potenza. Controllo e funzionamento a piena potenza. Il problema dello Xenon.

Cinetica spazio-energetica. Teoria delle perturbazioni e calcolo delle perturbazioni di reattività. Riderivazione della cinetica puntiforme col metodo adiabatico.

Teoria e calcolo delle barre di controllo.

### 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 calcoli di efficienza di barre di controllo e di transitori di potenza in un reattore nucleare. Le esercitazioni sperimentali riguardano la calibrazione di barre di controllo e le procedure di avviamento e salita a potenza.

Gli *esami* consistono in una prova orale e nella discussione degli elaborati delle esercitazioni svolte nel corso dell'anno.

5804

### PROBLEMI MATEMATICI DEI REATTORI NUCLEARI

Docente: **Giampiero Spiga** prof. inc.

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 sono caratterizzate da una impostazione interdisciplinare.

**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 poldrome. 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.

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.

Ortogonalità e completezza in  $L_2$ . Serie di Fourier. Teoremi di Parseval e Riesz-Fischer. Sistemi ortogonali e completi. I polinomi ortogonali classici.

Trasformata ed integrale di Fourier. Significato e proprietà dell'operazione. Applicazioni. Trasformata ed integrale di Laplace, ascisse di convergenza. Trasformata bilatera di Laplace. Alcune semplici funzioni di Green e loro significato.

Problemi di Sturm-Liouville regolari e singolari. Genesi e applicazioni delle funzioni speciali. Equazioni differenziali lineari ordinarie e teorema di Fuchs. Equazioni e funzioni ipergeometriche. Funzioni di Bessel e di Legendre. Funzione gamma di Euler.

Equazioni alle derivate parziali. Problema e teorema di Cauchy. Varietà 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 all'ingegneria nucleare.

*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, ecc.).

6806

**REATTORI AVANZATI**

Docente: **Francesco Premuda** prof. inc. stab.

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: il calcolo degli integrali di risonanza nei reattori HTGR

e nei reattori veloci, la cinetica delle reazioni di scattering anelastico, della reazione  $(n, 2n)$  e delle reazioni legate al breeding del tritio; la determinazione degli spettri neutronici nei reattori veloci e a fusione; le tecniche per l'omogeneizzazione dei reticoli ed i calcoli di spettro termico in essi con particolare riferimento ai problemi di multicella in HTGR; la teoria ed i metodi di calcolo iterativi di criticità per reattori termici e veloci con codici di trasporto e di diffusione; lo sviluppo di metodi intermedi diffusione-trasporto per reattori veloci; la fenomenologia fisica e le problematiche codicistiche neutroniche della schermatura dei reattori nucleari.

Le diverse problematiche elencate saranno portate avanti fino alla loro traduzione in codici di calcolo di progetto.

6470

### **STRUMENTAZIONE E REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTI NUCLEARI**

Docente: **Franco Cesari** prof. inc. stab.

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 (da 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. Stocchi prof. inc. stab.

### *Finalità del corso*

Presentare i diversi argomenti, 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 d'esercizio.

- I. Considerazioni introduttive — Principi fisici — Cenno alle proprietà nucleari dei materiali — Finalità e limiti della presente esposizione.
- II. Le proprietà dei materiali: aspetti termodinamici — Richiami di termodinamica — Le funzioni di Helmholtz e di Gibbs — Applicazioni allo studio degli equilibri di fase — Diagrammi di stato: Sistemi binari — equilibri liquido-solido; Sistemi binari — equilibri solido-solido; Diagrammi di stato complessi relativi a sistemi binari; Cenno ai diagrammi di stato dei sistemi ternari. — Applicazioni allo studio degli equilibri nei sistemi sede di reazione chimica.
- III. Le proprietà dei materiali: aspetti strutturalistici — Richiami sulla struttura dei solidi — I cristalli perfetti: solidi molecolari; solidi ionici; solidi covalenti; solidi metallici — Fasi solide metalliche: soluzioni solide sostituzionali; Soluzioni solide interstiziali; Fasi intermedie — Difetti reticolari — I cristalli reali: vacanze, interstiziali e difetti di Frenkel; Dislocazioni — Conseguenze della presenza dei difetti reticolari nei cristalli reali: diffusione; plasticità; interazioni mutue tra dislocazioni; incrudimento; bordi di grano; interazioni tra dislocazioni, atomi di soluto e particelle di precipitato.
- IV. Le proprietà dei materiali: aspetti cinetici — Richiami di cinetica; definizioni; effetto della temperatura; diffusione; Trasformazione di fase; solidificazione in condizioni di non equilibrio; trasformazioni di stato in fase solida. Diagrammi TTT.
- V. I trattamenti termici dei materiali metallici — Trattamenti termici di addolci-

mento — Ricotture: ricottura di omogeneizzazione; ricottura di distensione. Processi di riassetamento, ricristallizzazione, ingrossamento dei grani; ricottura completa. Trattamenti di indurimento; trattamenti di indurimento basati sulla trasformazione eutettoidica; La precipitazione da una soluzione solida soprassatura; La trasformazione disordine-ordine di una soluzione solida.

VI. Comportamento meccanico dei materiali metallici — Deformazione elastica e plastica. Frattura — Fatica — Comportamento dei materiali metallici sollecitati ad alta temperatura. Scorrimento a caldo: Influenza del carico e della temperatura; Influenza del bordo dei grani; Valutazione pratica del comportamento al creep.

VII. Compatibilità e corrosione — Premessa e definizioni — I fondamenti dei processi corrosivi a umido: Richiami di elettrochimica; Aspetti stechiometrici; Aspetti termodinamici; Aspetti cinetici; Passivazione e passività; Aspetti morfologici e strutturali; Metodi di prevenzione e protezione — Cenno ai processi di corrosione a secco — Cenno ai processi corrosivi determinati da metalli fusi.

VIII. Effetto delle radiazioni sulle proprietà dei materiali — Principi generali — Aspetti fisici — Danneggiamento del reticolo cristallino e modificazione delle proprietà fisiche dei materiali: Dimensioni reticolari; Densità e caratteristiche geometriche; Microstruttura; Conducibilità termica — Effetto dell'irraggiamento sulle proprietà meccaniche: Tensione critica di taglio, proprietà tensili; Modulo di elasticità; Durezza; Scorrimento — Influenza dei trattamenti precedenti e della temperatura d'irraggiamento — Energia immagazzinata e suo rilascio.

IX. I principali materiali per impianti nucleari — Materiali per contenitori in pressione e circuito primario: Contenitori in pressione in acciaio basso-legato; Vessel in cemento armato precompresso; Contenitori in acciaio inossidabile austenitico; Sistemi tubolari in lega di zirconio per reattori ad acqua pesante; Generatore di vapore ed elementi del circuito primario — Materiali per il nocciolo del reattore; Elementi di combustibile; Materiali strutturali; Materiali moderatori; Materiali assorbenti (per barre di regolazione); Materiali termovettori (refrigeranti).

#### *Testi consigliati:*

P.M. STROCCHI, *Tecnologia dei Materiali Nucleari*, CLUEB, Bologna, 1979.  
TIPTON C.R. Jr., *Reactor Handbook*, Vol. I Materials. Interscience, New York, London, 1960.

#### *Esercitazioni*

Nel corso delle esercitazioni vengono sviluppati argomenti complementari ed esemplificazioni ad indirizzo applicativo.

#### *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 concreto.

Sperimentale, intesa allo studio ed alla caratterizzazione di nuovi materiali, nuovi processi, nuove applicazioni.

2049

**TECNOLOGIE GENERALI**

Docente: **Gustavo Favretti** prof. ord. (inc.)

Il corso si propone lo studio e la descrizione dei processi di fabbricazione dei componenti delle costruzioni elettro-meccaniche, chimiche e nucleari.

Vengono analizzati i diversi processi di trasformazione dei materiali impiegati (acciai e leghe di rame) fino al pezzo finito, i fattori che li influenzano e i dispositivi e le macchine impiegate.

Particolare attenzione viene rivolta all'analisi delle proprietà meccaniche dei materiali, dei parametri che le caratterizzano e alla tecnologia della saldatura.

*Programma**1a parte - Tecnologie dei materiali*

Proprietà meccaniche e prove per determinare i parametri che le caratterizzano (trazione, meccanica della frattura, compressione, flessione, torsione, fatica, creep, resilienza, durezza). Solidificazione delle leghe binarie (corno), diagramma ferro-carbonio. Produzione della ghisa greggia, caratteristiche e designazione degli acciai, produzione degli acciai (processo L.D.). Trattamenti termici degli acciai. Rame e sue leghe.

*2a parte - Tecnologia della saldatura*

Saldatura: ossiacetilenica, ad arco manuale, MIG, MAG, TIG, Arcatom, elettrogas, ad arco sommerso, aluminotermica, electron-beam, con il laser. Ossitaglio, taglio ossiacetilenico, solcatura con aria compressa, plasma-jet. Forgiatura e bollitura a gas, saldatura elettrica a resistenza, saldatura a scintillio. Saldobrasatura, brasatura capillare. Qualifica saldatori. Metallurgia della saldatura, l'idrogeno in saldatura, tensioni residue. Controlli non distruttivi: raggi x, raggi  $\gamma$ , radioscopia, ultrasuoni, prove idrauliche.

*3a parte - Lavorazioni per deformazione plastica*

Incrudimento e riassetto. Lavorazioni a caldo: fucinatura statica e dinamica con e senza stampo, laminazione, estrusione. Lavorazioni a freddo: trafilatura, produzione delle lamiere, lavorazione delle lamiere (taglio, tranciatura, punzonatura, piegatura, calandratura, sagomatura, imbutitura). Macchine e attrezzature per le lavorazioni per

deformazione plastica, magli, presse. Trattamenti termomeccanici. Metallurgia delle polveri.

#### 4a parte - *Lavorazioni per asportazione di materiale*

Taglio dei metalli (cenco), lavorazioni per asportazione di truciolo (tornitura, fresatura, foratura, piallatura, brocciatura, rettifica), utensili e macchine utensili per le lavorazioni per asportazione di truciolo, attrezzature. Elettroerosione. Il controllo numerico delle macchine utensili.

#### *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.

MICHELETTI G.F., TECNOLOGIE GENERALI, Levrotto e Bella, Torino.

FUNAIOLI E., *Lezioni di Macchine Utensili*, Coop. Libr. Bologna.

MACCHINE UTENSILI, Enciclopedia pratica della tecnica, Valletti, Firenze.

METALS HANDBOOK, Volumi 3°, 4°, 5°, 6°, American Society for Metals.

*Propedeuticità consigliate:* Scienza delle costruzioni, Meccanica applicata alle macchine.

Le *esercitazioni* comprendono visite di istruzione presso industrie: trattamenti termici, lavorazioni plastiche, costruzione di recipienti in pressione.

*Esami:* colloquio che, prendendo lo spunto da problemi pratici, tocca i principali argomenti del corso.

*Tesi di Laurea:* processi di saldatura, processi e macchine per la lavorazione dei metalli.

6803

### **TEORIA DEI SISTEMI**

Docente: **Giuseppe Basile** prof. ord.

#### *Programma*

##### *Elementi di matematica*

Spazi vettoriali - Sottospazi - Basi - Norme - Trasformazioni lineari - Matrici - Autovalori - Autovettori - Sottospazi invarianti - Forma di Jordan - Funzione di matrice - Pseudoinversa di una matrice -

##### *Introduzione alla Teoria dei Sistemi*

Definizione di sistema - Classificazione dei sistemi - Modelli matematici - Esempi di sistemi dinamici -

*Studio delle proprietà caratteristiche dei sistemi*

Stabilità – Il metodo diretto di Liapunov – Stabilità dei sistemi non lineari – Stabilità dei sistemi lineari – Controllabilità e osservabilità – Definizioni generali – Studio dei sottospazi caratteristici per sistemi lineari stazionari – Scomposizione di Kalman –

*Complementi di Controlli Automatici*

Matrici e funzioni di trasferimento per sistemi lineari stazionari – Poli e zeri – Modi della risposta – Metodi grafici per lo studio della stabilità –

1059

**TERMOTECNICA DEL REATTORE**

Docente: **Enrico Lorenzini** prof. straord.

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.*

*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.

*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.





Finito di stampare  
dalla Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna  
40126 Bologna - Via Marsala, 24  
Ottobre 1982

06067

L. 1.500

BIBLIOTECA DI INGENIERIA