

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA

GUIDA DELLO STUDENTE

per la Facoltà di Ingegneria

ANNO ACCADEMICO 1976 - 1977



Cooperativa Libreria Universitaria Editrice
Bologna

UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

14

>>

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA

GUIDA DELLO STUDENTE

per la Facoltà di Ingegneria

ANNO ACCADEMICO 1976 - 1977

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

INV. N° 14348



Cooperativa Libreria Universitaria Editrice
Bologna



Università di Bologna
Biblioteca Ingegneria



Copyright © by Cooperativa Libreria Universitaria Editrice
40126 Bologna - Piazza G. Verdi 2/A

Finito di stampare nel mese di gennaio 1977 in Bologna
dalla Cooperativa Libreria Universitaria Editrice

INDICE

	<i>pag.</i>
Ordinamento nella Facoltà di ingegneria	7
Organi ufficiali della Facoltà	11
1 - Consiglio di Facoltà (Commissioni permanenti, Comitati di gestione)	11
2 - Consigli di Corso di Laurea (Commissioni per i Piani di studio) . .	11
Strutture didattico-scientifiche	12
Istituti e insegnamenti ad essi afferenti	12
Ordine degli studi per l'A.A. 1976/77	18
1 - Calendario delle lezioni	18
2 - Calendario degli esami	18
3 - Esami di Laurea	18
4 - Piani di studio ufficiali	19
5 - Note sui raggruppamenti consigliati	28
Dati statistici (studenti iscritti, laureati)	34
Programmi delle materie di insegnamento	38
1 - Corso di Laurea in Ingegneria Civile	38
A) Biennio propedeutico, comune a tutte le Sezioni	38
B) Triennio di applicazione, materie comuni a tutte le Sezioni . .	49
C) Ingegneria Civile, sezione Edile	67
D) Ingegneria Civile, sezione Idraulica	74
E) Ingegneria Civile, sezione Trasporti	83
2 - Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica	87
3 - Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica	107
4 - Corso di Laurea in Ingegneria Chimica	138
5 - Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria	166
6 - Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica	178
7 - Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare	219
Normativa di Segreteria	245
1 - Immatricolazione	245
2 - Immatricolazione di stranieri e di italiani in possesso di titoli di studio stranieri	246
A - Immatricolazione al primo anno di un Corso di Laurea	246
B - Iscrizione ad anni di corso successivi al primo	246
C - Assegnazione della sede universitaria	246

	<i>pag.</i>
D - Riconoscimento di titoli accademici esteri o di periodi di studio universitario compiuto all'estero	246
3 - Norme generali relative alla carriera scolastica	247
A - Validità dell'anno e attestazioni di frequenza	247
B - Corsi liberi	247
C - Esami di profitto. Modalità.	247
D - Esami di Laurea o Diploma. Modalità.	247
E - Conseguimento di un'altra laurea	247
4 - Norme particolari relative alla carriera scolastica nella Facoltà di Ingegneria	249
5 - Trasferimenti ad o da altra Università, o Facoltà, o Corsi di Laurea	252
A - Trasferimenti ad altra Università (congedi)	252
B - Trasferimenti da altra Università	252
C - Passaggi da altra Facoltà o Corso di Laurea presso l'Università di Bologna	252
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	252
E - Normativa per l'iscrizione di laureati in Architettura	252
6 - Piani di studio individuali	255
A - Criteri generali della Facoltà per l'applicazione delle leggi n. 910 e n. 924	256
B - Norme di massima per singoli Corsi di Laurea.	256
a) Corso di Laurea in Ingegneria Civile.	256
b) Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica	257
c) Corso di Laurea in Ingegneria Chimica	258
d) Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica	258
7 - Rilascio di attestazioni	259
8 - Dispensa dalle tasse e assegno di studio	260

ORDINAMENTO DELLA FACOLTA' DI INGEGNERIA

(estratto dallo Statuto della Università di Bologna, in vigore dal 1.5.1972)

Titolo XIII, Artt. 145 ÷ 151

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

Gli insegnamenti tenuti per i singoli corsi di laurea, oltre a quelli già elencati come comuni a tutti i corsi stessi, 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 ogni tipo di Laurea:

Laurea in Ingegneria civile

Sezione edile:

(Sezione edile, idraulica, trasporti)

- (a) Architettura e composizione architettonica.
- (b) Complementi di architettura tecnica.
- (b) Costruzione di strade, ferrovie e aeroporti.
- (b) Costruzione di ponti.
- (b) Tecnica urbanistica.
- (b) Impianti tecnici civili.
- (b) Acquedotti e fognature (sem.).
- (b) Fondamenti di economia ed estimo.
- (b) Principi di diritto (sem.).

2° Anno:

- (b) Disegno II.
- (b) Litologia e geologia.
- (a) Tecnologia dei materiali e chimica applicata.

Triennio d'applicazione:

- (a) Scienza delle costruzioni.
- (a) Meccanica applicata alle macchine e macchine.
- (a) Fisica tecnica.
- (a) Elettrotecnica.
- (a) Idraulica.
- (a) Tecnica delle costruzioni.
- (a) Architettura tecnica.
- (a) Topografia.

Sezione idraulica:

- (a) Costruzioni idrauliche.
- (b) Impianti speciali idraulici.
- (b) Complementi di architettura tecnica.
- (b) Costruzione di strade, ferrovie e aeroporti.
- (b) Costruzione di ponti.

- (b) Tecnica ed economia dei trasporti.
- (b) Fondamenti di economia ed estimo.
- (b) Principi di diritto (sem.).

Sezione trasporti:

- (a) Costruzione di strade, ferrovie e aeroporti.
- (b) Tecnica ed economia dei trasporti.
- (b) Complementi di architettura tecnica.
- (b) Costruzione di ponti.
- (b) Tecnica urbanistica.
- (b) Costruzioni idrauliche.
- (b) Fondamenti di economia ed estimo.
- (b) Principi di diritto (sem.).

Laurea in Ingegneria meccanica

2° Anno:

- (b) Disegno II.
- (a) Chimica applicata.

Triennio di applicazione:

- (b) Complementi di macchine.
- (a) Costruzione di macchine.
- (b) Economia e organizzazione aziendale.
- (a) Elettrotecnica.
- (a) Fisica tecnica.
- (a) Idraulica.
- (a) Impianti meccanici.
- (a) Macchine.
- (b) Macchine utensili.
- (a) Meccanica applicata alle macchine.
- (b) Misure meccaniche.
- (b) Progetti di macchine.
- (a) Scienza delle costruzioni.
- (b) Servocomandi e regolazione.
- (a) Tecnologia meccanica.

Laurea in Ingegneria elettrotecnica

2° Anno:

- (b) Chimica dei materiali elettrici.
- (b) Complementi di matematiche.

Triennio di applicazione:

- (b) Controlli automatici.

- (b) Economia ed organizzazione aziendale.
- (a) Elettronica applicata.
- (a) Elettrotecnica I.
- (b) Elettrotecnica II.
- (a) Fisica tecnica.
- (a) Idraulica.
- (a) Impianti elettrici I.
- (b) Impianti elettrici II.
- (a) Macchine.
- (a) Macchine elettriche.
- (a) Meccanica applicata alle macchine.
- (a) Misure elettriche.
- (a) Scienza delle costruzioni.
- (b) Tecnologie elettriche.

Laurea in Ingegneria chimica

2° Anno:

- (a) Chimica applicata.
- (a) Chimica organica.

Triennio di applicazione:

- (a) Chimica fisica.
- (b) Chimica fisica II.
- (a) Chimica industriale.
- (b) Costruzione di apparecchiature chimiche.
- (a) Elettrotecnica.
- (b) Fisica tecnica.
- (b) Idraulica.
- (a) Impianti chimici.
- (b) Impianti chimici II.
- (a) Macchine.
- (a) Meccanica applicata alle macchine.
- (b) Metallurgia e metallografia.
- (a) Principi di ingegneria chimica.
- (b) Principi di ingegneria chimica II.
- (a) Scienza delle costruzioni.
- (b) Strumentazione chimica e analisi strumentale.

Laurea in Ingegneria mineraria

2° Anno:

- (b) Disegno II.
- (b) Mineralogia.

Triennio di applicazione:

- (a) Arte mineraria.

- (a) Chimica applicata.
- (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.

Laurea in Ingegneria elettronica

2° Anno:

- (b) Metodi di osservazione e misura.

Triennio di applicazione:

- (a) Campi elettromagnetici e circuiti.
- (b) Complementi di matematiche.
- (a) Comunicazioni elettriche.
- (a) Controlli automatici.
- (b) Economia ed organizzazione aziendale.
- (b) Elettronica applicata I.
- (a) Elettronica applicata II.
- (a) Elettrotecnica I.
- (b) Elettrotecnica II.
- (a) Fisica tecnica.
- (b) Impianti elettrici.
- (a) Meccanica delle macchine e macchine.

- (a) Misure elettriche.
- (a) Radiotecnica.
- (b) Reti logiche e calcolatori elettronici.
- (a) Scienza delle costruzioni.
- (b) Teoria dei sistemi.

Laurea in Ingegneria nucleare

2° Anno:

- (a) Fisica atomica.
- (b) Tecnologia dei materiali nucleari.

Triennio di applicazione:

- (b) Complementi di matematiche.
- (b) Controllo del reattore nucleare.
- (a) Elettronica nucleare.
- (a) Elettrotecnica.
- (a) Fisica del reattore nucleare.
- (a) Fisica nucleare.
- (a) Elettrotecnica.
- (a) Fisica del reattore nucleare.
- (a) Fisica nucleare.
- (a) Fisica tecnica.
- (b) Idraulica.
- (a) Impianti nucleari.
- (a) Macchine.
- (a) Meccanica delle macchine.
- (b) Misura delle radiazioni e protezione.
- (b) Progetto del reattore nucleare.
- (a) Scienza delle costruzioni.
- (b) Teoria dei sistemi.
- (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 complementari:

- 1) Aerodinamica;
- 2) Analisi sperimentale delle tensioni;
- 3) Aerodinamica e gasdinamica;
- 4) Bioautomatica;
- 5) Complementi di costruzione di macchine;
- 6) Complementi di macchine elettriche;
- 7) Complementi di matematiche;
- 8) Costruzioni di macchine automatiche;
- 9) Cicli di fabbricazione;
- 10) Costruzioni aeronautiche;
- 11) Caratteri distributivi degli edifici;
- 12) Complementi di tecnica delle costruzioni;
- 13) Complementi di tecnica urbanistica;
- 14) Costruzioni marittime e fluviali;
- 15) Controlli automatici;
- 16) Controlli idraulici e pneumatici;
- 17) Centrali e stazioni elettriche;
- 18) Calcolo delle macchine elettriche;
- 19) Costruzioni elettromeccaniche;
- 20) Complementi di misure elettriche;

- | | |
|--|---|
| 21) Complementi di elettrotecnica; | 64) Macchine ed impianti elettrici; |
| 22) Chimica e tecnologia dei prodotti ceramici; | 65) Misure nucleari; |
| 23) Chimica fisica dei polimeri; | 66) Neutronica applicata; |
| 24) Complementi di chimica industriale; | 67) Organizzazione della produzione; |
| 25) Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti; | 68) Olcodinamica e pneumatica; |
| 26) Consolidamento dei terreni; | 69) Progetto di generatori di vapore; |
| 27) Controllo dei processi; | 70) Progetto di macchine a fluido; |
| 28) Chimica fisica dello stato solido; | 71) Principi e tecnica della teleselezione; |
| 29) Calcolo elettronico; | 72) Preparazione dei minerali; |
| 30) Chimica fisica dei materiali nucleari; | 73) Progetto di componenti e circuiti integrati; |
| 31) Chimica nucleare; | 74) Produzione e trasporto degli idrocarburi; |
| 32) Complementi di neutronica; | 75) Petrografia (semestrale); |
| 33) Costruzioni nucleari; | 76) Ricerca operativa; |
| 34) Costruzioni di macchine; | 77) Scienza dei metalli; |
| 35) Dinamica e controllo delle apparecchiature chimiche; | 78) Strumentazione industriale; |
| 36) Disegno di impianti chimici; | 79) Sociologia e psicologia industriale; |
| 37) Difesa e conservazione del suolo; | 80) Statistica industriale; |
| 38) Elettronica industriale; | 81) Servocomandi e regolazione II; |
| 39) Economia politica e industriale; | 82) Strumentazione e regolazione degli impianti; |
| 40) Elettroacustica; | 83) Sistemi per l'elaborazione dell'informazione; |
| 41) Elementi di analisi funzionale; | 84) Statistica applicata; |
| 42) Elettronica quantistica; | 85) Strumentazione elettronica; |
| 43) Fabbricati e costruzioni industriali; | 86) Strumentazione biomedica; |
| 44) Geotecnica (semestrale); | 87) Tecnologia dei materiali; |
| 45) Generatori elettrici speciali; | 88) Tecnologie speciali; |
| 46) Impianti meccanici; | 89) Tecnica delle fondazioni (semestrale); |
| 47) Ingegneria dei sistemi; | 90) Tecnica ed economia dei trasporti; |
| 48) Impianti speciali idraulici; | 91) Tecnica della circolazione; |
| 49) Idrologia e idrografia; | 92) Tecnica dei sondaggi; |
| 50) Impianti idroelettrici e di rivalutazione di energia; | 93) Trazione e propulsione; |
| 51) Industria del petrolio e petrolchimica; | 94) Teoria e tecnica della ricerca operativa; |
| 52) Impianti minerari; | 95) Tecnica delle alte tensioni; |
| 53) Idrogeologia applicata (semestrale); | 96) Tecnica delle comunicazioni elettriche; |
| 54) Ingegneria sismica (semestrale); | 97) Tecnologie generali; |
| 55) Impianti chimici nucleari; | 98) Teoria e sviluppo dei processi; |
| 56) Legislazione mineraria (semestrale); | 99) Tecnica delle microonde; |
| 57) Linguaggi di programmazione; | 100) Tecnologie elettroniche; |
| 58) Materie giuridiche; | 101) Teoria dei circuiti; |
| 59) Misure e modelli idraulici; | 102) Tecniche di controllo; |
| 60) Meccanica dei giacimenti di idrocarburi; | 103) Tecnologie dei semiconduttori; |
| 61) Materiali speciali per l'elettrotecnica e l'elettronica; | 104) Tecnica degli impulsi; |
| 62) Meccanica dei giacimenti di idrocarburi; | 105) Trasduttori; |
| 63) Misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi; | 106) Tecnologie industriali; |
| | 107) Tecnica delle costruzioni. |

Art. 149

Per essere ammesso all'esame di laurea lo studente dovrà avere seguito i corsi e superato gli esami in tutti gli insegnamenti del quinquennio obbligatori sia sul piano nazionale (a)

che sul piano di facoltà (b) prescritti per il corso di laurea cui è iscritto nonchè gli insegnamenti del gruppo (c) da lui prescelto nell'ambito di quelli stabiliti per lo stesso corso di laurea.

Art. 150

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

Art. 151

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 e della ricerca vengono fissate dal consiglio di facoltà.

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

ORGANI UFFICIALI DELLA 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 e i Professori incaricati stabilizzati. Sono membri eletti: quattro rappresentanti dei Professori incaricati non stabilizzati e degli assistenti, un rappresentante dei contrattisti, un rappresentante degli assegnisti.

Alle adunanze del C.d.F. può intervenire una rappresentanza di nove studenti, con diritto di parola e di proposta sulle materie che ritengono 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 e le domande di studenti in generale. Essa è composta attualmente dai proff.: F. Caboni, Presidente (Ist. Meccanica Applicata), L. Ambrosini (Ist. Elettronica), G. Baccarani (Ist. Elettronica), G. Carpaneto (Ist. Automatica), C. Elmi (Ist. Scienze Minerarie), L. Pentimalli (Ist. Chimico), G. Trebbi (Ist. Architettura), T. Trombetti (Lab. Ingegneria Nucleare Montecuccolino).

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 e formulano proposte al Consiglio di Facoltà ed alle Commissioni, su tale materia.

Sono membri di un C.C.d.L. tutti i professori ufficiali di insegnamenti inseriti per l'a.a. in corso nel piano di studi ufficiale della Facoltà e gli assistenti, contrattisti e assegnisti che nel medesimo a.a. svolgono esercitazioni nell'ambito dei suddetti insegnamenti.

Alle adunanze possono partecipare, con diritto di intervento e proposta, tutti coloro che svolgono attività didattica nell'ambito del Corso di Laurea. Possono partecipare inoltre, in modo analogo, rappresentanti degli studenti del Corso di Laurea, nominati dai rappresentanti degli studenti nel C.d.F. nello stesso numero e proporzione di lista.

All'interno dei Consigli di Corso di Laurea funzionano *Commissioni per l'esame delle domande di piani di studio individuali* e di modifiche di piani di studio, composte attualmente dai Proff.:

Ing. Civile: Bottau, Guerrini, Tagliaventi; Ing. Meccanica: Dal Re, S. Sandrolini; Ing. Elettrotecnica: Brunelli, Burchiani, Pattini, Rancoita; Ing. Chimica: Chiorboli, Pentimalli, Santarelli; Ing. Mineraria: Ciancabilla, Elmi, Pieri; Ing. Elettronica: Baccarani, Laschi, Someda, Toth; Ing. Nucleare: Boffi, Curioni, Sobrero.

STRUTTURE DIDATTICO-SCIENTIFICHE

Istituti e insegnamenti ad essi afferenti.

In assenza di una differente specificazione, l'indicazione di un insegnamento si riferisce a tutti i corsi di raddoppio attivati.

- 1 - *Istituto di Architettura e urbanistica*
 Architettura e composizione architettonica
 Architettura tecnica
 Caratteri distributivi degli edifici
 Complementi di architettura tecnica
 Complementi di tecnica urbanistica
 Disegno II (Ing. Civile)

Fabbricati e costruzioni industriali
Tecnica urbanistica

2 - *Istituto di Automatica (già Centro Calcoli e Servomeccanismi)*

Calcolo elettronico (Ing. Elettronica)
Controlli automatici
Controllo dei processi
Elementi di analisi funzionale
Reti logiche e calcolatori elettronici
Sistemi per l'elaborazione delle informazioni
Strumentazione biomedica
Tecniche di controllo
Teoria dei sistemi
Teoria e tecnica della ricerca operativa

3 - *Istituto Chimico*

Chimica
Chimica applicata
Chimica e tecnologia dei prodotti ceramici
Chimica fisica
Chimica fisica dei materiali nucleari
Chimica nucleare
Chimica organica
Impianti chimici nucleari
Industria del petrolio e petrolchimica
Metallurgia e metallografia
Strumentazione chimica e analisi strumentale
Tecnologia dei materiali (Ing. Chimica)
Tecnologia dei materiali e chimica applicata

4 - *Istituto di Costruzioni aeronautiche*

Aerodinamica
Costruzioni aeronautiche

5 - *Istituto di Costruzioni idrauliche*

Acquedotti e fognature
Costruzioni idrauliche
Costruzioni marittime e fluviali
Difesa e conservazione del suolo
Idrologia e idrografia
Impianti speciali idraulici

6 - *Istituto di Costruzioni di strade, ferrovie e aeroporti*

Consolidamento dei terreni
Costruzione di ponti

Costruzione di strade, ferrovie e aeroporti
 Fondamenti di economia ed estimo
 Geotecnica
 Principi di diritto

7 - *Istituto di Elettronica*

Calcolo elettronico (Ing. Elettrotecnica, Chimica, Mineraria)
 Campi elettromagnetici e circuiti
 Chimica fisica dello stato solido
 Comunicazioni elettriche
 Elettronica applicata
 Elettronica applicata I
 Elettronica applicata II
 Elettronica industriale
 Elettronica nucleare
 Elettronica quantistica
 Linguaggi di programmazione
 Metodi di osservazione e misura
 Misure elettriche (Ing. Elettronica)
 Radiotecnica
 Statistica applicata
 Strumentazione elettronica
 Tecnica degli impulsi
 Tecnica delle microonde
 Tecnologie dei semiconduttori
 Tecnologie elettroniche
 Teoria dei circuiti

8 - *Istituto di Elettrotecnica*

Calcolo delle macchine elettriche
 Centrali e stazioni elettriche
 Complementi di elettrotecnica
 Complementi di macchine elettriche
 Costruzioni elettromeccaniche
 Elettrotecnica
 Elettrotecnica I
 Elettrotecnica II
 Generatori elettrici speciali
 Macchine e impianti elettrici
 Macchine elettriche

9 - *Istituto di Elettrotecnica industriale*

Complementi di misure elettriche
 Economia e organizzazione aziendale (Ing. Elettrotecnica ed Elettronica)
 Impianti elettrici

Impianti elettrici I
Impianti elettrici II
Materiali speciali per l'elettrotecnica e l'elettronica
Misure elettriche (Ing. Elettrotecnica)
Strumentazione e regolazione degli impianti (Ing. Elettrotecnica)
Tecnica delle alte tensioni
Tecnologie elettriche

10 - *Istituto di Fisica tecnica*

Fisica tecnica
Impianti tecnici civili
Termotecnica del reattore

11 - *Istituto di Giacimenti minerari*

Geologia
Giacimenti minerari
Mineralogia

12 - *Istituto di Idraulica*

Complementi di matematica (Ing. Elettrotecnica)
Controlli idraulici e pneumatici
Idraulica
Impianti idroelettrici e di rivalutazione dell'energia
Misure e modelli idraulici

13 - *Istituto di Impianti chimici*

Chimica industriale
Dinamica e controllo delle apparecchiature chimiche
Impianti chimici
Impianti chimici II
Principi di ingegneria chimica
Principi di ingegneria chimica II
Teoria e sviluppo dei processi

14 - *Istituto di Impianti meccanici*

Disegno (Ing. Chimica)
Impianti meccanici
Impianti nucleari
Meccanica delle macchine e macchine

15 - *Laboratorio di Ingegneria nucleare*

Calcolo elettronico (Ing. Nucleare)
Complementi di matematica (Ing. Nucleare)
Complementi di neutronica
Controllo del reattore nucleare

Fisica I
Fisica II
Fisica atomica
Fisica del reattore nucleare
Fisica nucleare
Misura delle radiazioni e protezioni
Misure nucleari
Neutronica applicata
Progetto del reattore nucleare
Strumentazione e regolazione degli impianti (Ing. Nucleare)
Tecnologia dei materiali nucleari

16 - *Istituto di Macchine*

Complementi di macchine
Disegno (Ing. Elettronica)
Disegno (Ing. Elettrotecnica e Nucleare)
Disegno (Ing. Meccanica e Mineraria)
Macchine
Meccanica applicata alle macchine e macchine
Misure meccaniche
Servocomandi e regolazione
Strumentazione industriale

17 - *Istituto di Meccanica applicata alle macchine*

Complementi di costruzioni di macchine
Costruzioni di macchine
Disegno (Ing. Elettronica)
Disegno II (Ing. Meccanica e Mineraria)
Meccanica applicata alle macchine

18 - *Istituto di Progetti di macchine e tecnologie meccaniche*

Analisi sperimentale delle tensioni
Costruzione di apparecchiature chimiche
Economia e organizzazione aziendale (Ing. Meccanica)
Organizzazione della produzione
Progetti di macchine
Scienza dei metalli
Tecnologia meccanica
Tecnologia dei materiali (Ing. Meccanica)
Tecnologie generali

19 - *Istituto di Scienza delle costruzioni*

Scienza delle costruzioni

20 - *Istituto di Scienze minerarie*

Arte mineraria

Giacimenti minerari
 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

21 - Istituto di Tecnica delle costruzioni

Complementi di tecnica delle costruzioni
 Tecnica delle costruzioni
 Tecnica delle fondazioni

22 - Istituto di Tecnica ed economia dei trasporti

Tecnica della circolazione
 Tecnica ed economia dei trasporti
 Trazione e propulsione

23 - Istituto di Topografia, Geodesia e Geofisica mineraria

Complementi di matematiche (Ing. Elettronica)
 Geofisica mineraria
 Topografia

Insegnamenti non annessi ad Istituti della Facoltà

Istituto di Geologia della Facoltà di Scienze

Geologia
 Litologia e geologia

Istituto di Geometria della Facoltà di Scienze

Disegno (Ing. Civile)
 Geometria

Istituto Matematico della Facoltà di Scienze

Analisi matematica I
 Analisi matematica II
 Meccanica razionale

Istituto di Mineralogia della Facoltà di Scienze

Mineralogia

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1976/77

LEZIONI

a) *Insegnamenti a svolgimento intensivo.*

Gli insegnamenti vengono impartiti in due cicli di lezioni:

1° ciclo, dal 8 novembre 1976 al 12 febbraio 1977 (con 15 giorni di vacanze natalizie: 23 dicembre - 6 gennaio).

2° ciclo, dal 7 marzo 1977 al 11 giugno 1977 (con 6 giorni di vacanze pasquali: 7 - 12 aprile).

b) *Insegnamenti a svolgimento estensivo.*

Per il triennio di applicazione vengono impartiti con la distribuzione usuale delle ore nella settimana; le lezioni verranno tenute negli stessi periodi di quelli dei cicli intensivi, con stesso inizio e fine, con la stessa interruzione a febbraio e marzo e con le stesse vacanze.

Per il biennio propedeutico vengono impartiti con la distribuzione usuale delle ore nella settimana; le lezioni avranno inizio l'8 novembre 1976 e termineranno il 31 maggio 1977, e seguiranno il calendario accademico ufficiale, salvo una interruzione per esami dal 14 al 26 febbraio 1977 per i corsi del 2° anno.

ESAMI DELL'ANNO ACCADEMICO 1976/77

Ferme restando le sessioni di esami estiva ed autunnale, si attua un anticipo parziale della sessione estiva (per i soli esami delle materie svolte nel primo ciclo e per gli esami in difetto degli anni precedenti) ed un ampliamento dell'appello aggiuntivo di febbraio, come segue:

- 1) anticipo della sessione estiva 1976/77 - 14 febbraio - 5 marzo 1977;
- 2) sessione estiva 1976/77 - 13 giugno - 17 luglio aperta a qualsiasi esame;
- 3) sessione autunnale 1976/77 - 1-31 ottobre 1977 aperta a qualsiasi esame;
- 4) appello aggiuntivo di febbraio 1978 (anno accademico 1976-77 - febbraio 1978);

L'appello aggiuntivo di febbraio all'anno accademico 1975-76 si svolgerà contemporaneamente all'anticipo della sessione estiva dell'anno accademico 1976-77 dal 14 febbraio al 5 marzo 1977. Eventuali prolungamenti dovranno comunque avere termine il 31 marzo 1977.

Esami di laurea.

Gli appelli degli esami di Laurea sono fissati come segue:

1976: 9 Dicembre;

1977: 24 Febbraio, 31 Marzo, 23 Giugno, 21 Luglio, 27 Ottobre.

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1976/77

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (SEZ. EDILE) - COD. 2008						
Anno di corso	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	51 275 430 890 1061	Architettura tecnica Elettrotecnica Fisica tecnica Scienza delle costruzioni Topografia			812	Principi di diritto (sem.)
IV ANNO	1026 1034 2005	Tecnica delle costruzioni Tecnica urbanistica Complementi di architettura tecnica	688 490	Meccanica applicata alle macchine e macchine Idraulica	447	Fondamenti di economia ed estimo
V ANNO	50 198 204 522	Architettura e composizione architettonica Costruzione di ponti Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti Impianti tecnici civili	2006	Acquedotti e fognature (sem.)		
Due materie (1) a scelta tra quelle sottoelencate.						
MATERIE A SCELTA	85 2010 2009 518	Caratteri distributivi degli edifici Complementi di tecnica delle costruzioni Complementi di tecnica urbanistica Impianti speciali idraulici	2007 1031	Geotecnica (semestrale) Tecnica ed economia dei trasporti	2011 2008	Tecnica della circolazione Tecnica delle fondazioni (semestrale)
	La Facoltà consiglia i seguenti raggruppamenti:					
MATERIE A SCELTA	Gruppo I		Gruppo III		Gruppo V	
	2007 518	Geotecnica (semestrale) Impianti speciali idraulici	2010 2007 2008	Complementi di tecnica delle costruzioni Geotecnica (semestrale) Tecnica delle fondazioni (semestrale)	85 2009	Caratteri distributivi degli edifici Complementi di tecnica urbanistica
	Gruppo II		Gruppo IV			
	2009 1031	Complementi di tecnica urbanistica Tecnica ed economia dei trasporti	1031 2011	Tecnica ed economia dei trasporti Tecnica della circolazione		

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

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (SEZ. IDRAULICA) - COD. 2009							
Anno di corso	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	51 275 430 890 1061	Architettura tecnica Elettrotecnica Fisica tecnica Scienza delle costruzioni Topografia			812	Principi di diritto (sem.)	
IV ANNO	1026 2005	Tecnica delle costruzioni Complementi di architettura tecnica	490 688	Idraulica Meccanica applicata alle macchine e macchine	447	Fondamenti di economia ed estimo	
Una materia (1) a scelta tra quelle sottoelencate.							
V ANNO	198 206 204 518	Costruzione di ponti Costruzioni idrauliche Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti Impianti speciali idraulici	1031	Tecnica ed economia dei trasporti			
Una materia (1) a scelta tra quelle sottoelencate.							
MATERIE A SCELTA	2010 2014	Complementi di tecnica delle costruzioni Costruzioni marittime e fluviali	1382 2015 4131 496 2007 690 1019	Controlli automatici Controlli idraulici e pneumatici Difesa e conservazione del suolo Idrologia e idrografia Geotecnica (semestrale) Meccanica dei giacimenti di idrocarburi Tecnica dei sondaggi	4125 2013 2008	Consolidamento dei terreni Misure e modelli idraulici Tecnica delle fondazioni (semestrale)	
	La Facoltà consiglia i seguenti raggruppamenti:						
		Gruppo I		Gruppo III		Gruppo V	
	690	Meccanica dei giacimenti di idrocarburi (IV anno)	2007	Geotecnica (semestrale) (IV anno)	496	Idrologia e idrografia (IV anno)	
	1019	Tecnica dei sondaggi (V anno)	2008	Tecnica delle fondazioni (semestrale) (IV anno)	2014	Costruzioni marittime e fluviali (V anno)	
		Gruppo II		Gruppo IV		Gruppo VI	
	2013	Misure e modelli idraulici (IV anno)	1382	Controlli automatici (IV anno)	4131	Difesa e conservazione del suolo (V anno)	
	2014	Costruzioni marittime e fluviali (V anno)	2015	Controlli idraulici e pneumatici (V anno)	4125	Consolidamento dei terreni (IV anno)	

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

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1976/77

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE (SEZ. TRASPORTI) - COD. 2010								
Anno di corso	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	51 275 430 890 1061	Architettura tecnica Elettrotecnica Fisica tecnica Scienza delle costruzioni Topografia			812 Principi di diritto (sem.)			
IV ANNO	1026 1034 2005	Tecnica delle costruzioni Tecnica urbanistica Complementi di architettura tecnica	688 490	Meccanica applicata alle macchine e macchine Idraulica	447 Fondamenti di economia ed estimo			
V ANNO	198 204 206	Costruzione di ponti Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti Costruzioni idrauliche	1031	Tecnica ed economia dei trasporti				
Due materie (1) a scelta tra quelle sottoelencate.								
MATERIE A SCELTA	2010	Complementi di tecnica delle costruzioni	2007	Geotecnica (semestrale)	2011	Tecnica della circolazione		
	2009	Complementi di tecnica urbanistica			2008	Tecnica delle fondazioni (semestrale)		
	518	Impianti speciali idraulici			2017	Teoria e tecnica della ricerca operativa		
					2016	Trazione e propulsione		
La Facoltà consiglia i seguenti raggruppamenti:								
	Gruppo I		Gruppo III		Gruppo V			
2009	Complementi di tecnica urbanistica		2010	Complementi di tecnica delle costruzioni		2011	Tecnica della circolazione	
2011	Tecnica della circolazione		2007	Geotecnica (semestrale)		2017	Teoria e tecnica della ricerca operativa	
			2008	Tecnica delle fondazioni (semestrale)				
	Gruppo II		Gruppo IV					
2011	Tecnica della circolazione		2007	Geotecnica (semestrale)				
2016	Trazione e propulsione		518	Impianti speciali idraulici				
			2008	Tecnica delle fondazioni (semestrale)				

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

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1976/77

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA - COD. 2002							
Anno di corso	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo				
	N.º cod.		N.º cod.	I ciclo	N.º 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			275 430 490	Elettrotecnica Fisica tecnica Idraulica	687 890 1037	Meccanica applicata alle macchine Scienza delle costruzioni Tecnologia meccanica	
IV ANNO			201 2019	Costruzione di macchine Misure meccaniche	4022	Macchine	
Tre materie a scelta tra quelle sottoelencate.							
V ANNO			2018 251 670	Complementi di macchine Economia ed organizzazione aziendale Macchine utensili	515 818 901	Impianti meccanici Progetti di macchine Servocomandi e regolazione	
Una materia a scelta tra quelle sottoelencate.							
MATERIE A SCELTA			4117 199 1031 2224	Analisi sperimentale delle tensioni Costruzioni aeronautiche Tecnica ed economia dei trasporti Tecnologia dei materiali Calcolo elettronico (1)	2 2022 2020	Aerodinamica Complementi di costruzione di macchine Organizzazione della produzione	
					886 4146	Scienza dei metalli Strumentazione industriale	
					2011 2016	Tecnica della circolazione Trazione e propulsione	
	La Facoltà consiglia i seguenti raggruppamenti:						
		Gruppo I		Gruppo II		Gruppo III	
		2224 Tecnologia dei materiali (IV anno)	886	886 Scienza dei metalli (IV anno)	1031	1031	Tecnica ed economia dei trasporti (IV anno)
		2022 Complementi di costruzione di macchine (IV anno)	4146	4146 Strumentazione industriale (IV anno)	2	2	Aerodinamica (IV anno)
		886 Scienza dei metalli (IV anno)	2020	2020 Organizzazione della produzione (V anno)	2011	2011	Tecnica della circolazione (IV anno)
		4117 Analisi sperimentale delle tensioni (V anno)		Calcolo elettronico (IV anno) (1)	2016	2016	Trazione e propulsione (IV anno)
		Calcolo elettronico (IV anno) (1)	2224	2224 Tecnologia dei materiali (IV anno)	199	199	Costruzioni aeronautiche (V anno)

(1) Lo studente all'atto della scelta delle materie di indirizzo, deve optare per il corso 83 (a carattere generale) o per il corso 1383 (per nucleari).

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTROTECNICA - COD. 2003							
Anno di corso	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo				
	N.º cod.		N.º cod.	I ciclo	N.º cod.	II ciclo	
I ANNO	1351 1359 1364 1368 1376	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica I Geometria					
II ANNO	1355 1373 1380 2025	Analisi matematica II Fisica II Meccanica razionale Chimica dei materiali elettrici (1)			189	Complementi di matematiche (2)	
III ANNO			277 430 490	Elettrotecnica I Fisica tecnica Idraulica	1385 279 890	Meccanica applicata alle macchine Elettrotecnica II Scienza delle costruzioni	
IV ANNO			196 270 251 732	Controlli automatici Elettronica applicata Economia ed organizzazione aziendale Misure elettriche	506 663 666	Impianti elettrici I Macchine Macchine elettriche	
V ANNO			508 1046	Impianti elettrici II Tecnologie elettriche			
Quattro materie a scelta tra quelle sottolencate.							
MATERIE A SCELTA			83 2468 4118 350 517 201	Calcolo elettronico Complementi di elettrotecnica Complementi di macchine elettriche Fabbricati e costruzioni industriali Impianti nucleari Costruzione di macchine	81 4121 4122 205 4134 4139 4151 4153 2016 2049	Calcolo delle macchine elettriche Centrali e stazioni elettriche Complementi di misure elettriche Costruzioni elettromeccaniche Impianti idroelettrici e di rivalutazione dell'energia Materiali speciali per l'elettrotecnica e l'elettronica Strumentazione e regolazione degli impianti Tecnica delle alte tensioni Trazione e propulsione Tecnologie generali	
	La Facoltà consiglia i seguenti raggruppamenti:						
		Gruppo I		Gruppo II		Gruppo III	
		83 Calcolo elettronico	83 Calcolo elettronico	83 Calcolo elettronico	83 Calcolo elettronico	83 Calcolo elettronico	
		4118 Complementi di macchine elettriche	350 Fabbricati e costruzioni industriali	2468 Complementi di elettrotecnica	4121 Centrali e stazioni elettriche	4122 Complementi di misure elettriche	
		81 Calcolo delle macchine elettriche	517 Impianti nucleari	4118 Complementi di macchine elettriche	4122 Complementi di misure elettriche	205 Costruzioni elettromeccaniche	
		205 Costruzioni elettromeccaniche	4121 Centrali e stazioni elettriche	350 Fabbricati e costruzioni industriali	4122 Complementi di misure elettriche	4134 Impianti idroelettrici e di rivalutazione dell'energia	
		4122 Complementi di misure elettriche	4134 Impianti idroelettrici e di rivalutazione della energia	517 Impianti nucleari	4134 Impianti idroelettrici e di rivalutazione della energia	4139 Materiali speciali per la elettrotecnica e l'elettronica	
		2016 Trazione e propulsione	4151 Strumentazione e regolazione degli impianti	4121 Centrali e stazioni elettriche	4151 Strumentazione e regolazione degli impianti	4153 Tecnica delle alte tensioni	
		2049 Tecnologie generali	4153 Tecnica delle alte tensioni	4134 Impianti idroelettrici e di rivalutazione della energia	4153 Tecnica delle alte tensioni	2049 Tecnologie generali	
	1384 Costruzione di macchine		4134 Impianti idroelettrici e di rivalutazione della energia	2016 Trazione e propulsione			

(1) Nel piano di studio individuale l'allievo può sostituire l'insegnamento "Chimica dei materiali elettrici" con l'insegnamento "Metodi di osservazione e misura" (2004).
 (2) Il corso tratta il calcolo numerico e la programmazione.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA - COD. 2004							
Anno di corso	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo				
	N.° cod.		N.° cod.	I ciclo	N.° cod.	II ciclo	
I ANNO	1351 1360 4685 1368 1376	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica I Geometria					
II ANNO	1355 92 148 1373 1380	Analisi matematica II Chimica applicata Chimica organica Fisica II Meccanica razionale					
III ANNO			275 430 490	Elettrotecnica Fisica tecnica Idraulica	122 1385 890	Chimica fisica Meccanica applicata alle macchine Scienza delle costruzioni	
IV ANNO			127 2021 814	Chimica fisica II (2) Metallurgia e metallografia (1) Principi di Ingegneria chimica	501 663 4641	Impianti chimici Macchine Principi di Ingegneria chimica II	
Una materia a scelta tra quelle sottelenate (3).							
V ANNO			2030 502 1011	Costruzione di apparecchiature chimiche Impianti chimici II Strumentazione chimica e analisi strumentale	137	Chimica industriale	
Due materie a scelta tra quelle sottelenate:							
MATERIE A SCELTA			83 115 251 350 690 1388 2031	Calcolo elettronico Chimica e tecnologia dei prodotti ceramici Economia ed organizzazione aziendale Fabbricati e costruzioni industriali Meccanica dei giacimenti di idrocarburi Tecnologia dei materiali Teoria e sviluppo dei processi	4129 525 731 805 816 2049 4115	Dinamica e controllo delle apparecchiature chimiche Industria del petrolio e petrolchimica Misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi Preparazione dei minerali Produzione e trasporto degli idrocarburi Tecnologie generali Teoria dei sistemi	
	La Facoltà consiglia i seguenti raggruppamenti.						
		Gruppo I		Gruppo II		Gruppo III	
		1388 Tecnologia dei materiali (IV anno)	83 Calcolo elettronico (IV anno)	4129 Teoria dei sistemi (IV anno)	350 Fabbricati e costruzioni industriali (IV anno)	2049 Tecnologie generali (IV anno)	
		2049 Tecnologie generali (IV anno)	4115 Teoria dei sistemi (IV anno)	2031 Teoria e sviluppo dei processi (V anno)	251 Economia e organizzazione aziendale (V anno)	525 Industria del petrolio e petrolchimica (V anno)	
		115 Chimica e tecnologia dei prodotti ceramici (V anno)	4129 Dinamica e controllo delle apparecchiature chimiche (V anno)				
		805 Preparazione dei minerali (V anno)					
			Gruppo IV				
			690 Meccanica dei giacimenti di idrocarburi (IV anno)				
			731 Misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi (IV anno)				
		525 Industria del petrolio e petrolchim. (V anno)					
		816 Produzione e trasporto degli idro. (V anno)					

(1) Sostituibile ad ogni effetto con « Tecnologie dei materiali » (sez. chimica).

(2) Sostituito ad ogni effetto dagli insegnamenti di « Tecnologie dei materiali » (per il gruppo I), di « Calcolo elettronico » (per il gruppo II), di « Fabbricati e costruzioni industriali » (per il gruppo III), di « Meccanica dei giacimenti di idrocarburi » (per il gruppo IV).

(3) Oltre a quella sostitutiva di « Chimica fisica II ».

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1976/77

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MINERARIA - COD. 2005							
Anno di corso	Corsi a svolgimento estensivo			Corsi a svolgimento intensivo			
	N.º cod.		N.º cod.	I ciclo	N.º cod.	II ciclo	
I ANNO	1350 1358 1363 1367 1374	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica I Geometria					
II ANNO	1354 3781 1370 1378 722 92	Analisi matematica II Disegno II Fisica II Meccanica razionale Mineralogia Chimica applicata					
III ANNO	430 890	Fisica tecnica Scienza delle costruzioni	275 464	Elettrotecnica Geologia	1385	Meccanica applicata alle macchine	
IV ANNO			454 490 4114	Geofisica mineraria Idraulica Meccanica delle rocce	482 663 54	Giacimenti minerali Macchine Arte mineraria	
Una materia a scelta tra quelle sottelenate.							
V ANNO			690 1019	Meccanica dei giacimenti di idrocarburi Tecnica dei sondaggi	1061	Topografia	
Tre materie a scelta tra quelle sottelenate.							
MATERIE A SCELTA	1026	Tecnica delle costruzioni	83 4131 2007	Calcolo elettronico Difesa e conservazione del suolo Geotecnica (semestrale)	4125 516 731 805 816 2008	Consolidamento dei terreni Impianti minerali Misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi Preparazione dei minerali Produzione e trasporto degli idrocarburi Tecnica delle fondazioni (semestrale)	
	La Facoltà consiglia i seguenti raggruppamenti:						
	Gruppo I		Gruppo II		Gruppo III		
	2007	Geotecnica (semestrale, IV anno)	2007	Geotecnica (semestrale, IV anno)	2007	Geotecnica (semestrale, IV anno)	
83	Calcolo elettronico (V anno)	83	Calcolo elettronico (V anno)	83	Calcolo elettronico (V anno)		
516	Impianti minerali (V anno)	731	Misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi (V anno)	1026	Tecnica delle costruzioni (V anno)		
805	Preparazione dei minerali (V anno)	816	Produzione e trasporto degli idrocarburi (V anno)	2008	Tecnica delle fondazioni (V anno, semestrale)		
Gruppo IV							
		2007	Geotecnica (semestrale, IV anno)				
		83	Calcolo elettronico (V anno)				
		4131	Difesa e conservazione del suolo (V anno)				
		4125	Consolidamento dei terreni (V anno)				

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - COD. 2006							
Anno di corso	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo				
	N.° cod.		N.° cod.	I ciclo	N.° cod.	II ciclo	
I ANNO	1352 1361 1365 1369 1377	Analisi matematica I Chimica Disegno Fisica I Geometria					
II ANNO			1356 1372	Analisi matematica II Fisica II	1381 2004 83	Meccanica razionale Metodi di osservazione e misura Calcolo elettronico (1)	
III ANNO			189 277 430	Complementi di matematiche Elettrotecnica I Fisica tecnica	2438 279 890 4115	Elettronica applicata I Elettrotecnica II Scienza delle costruzioni Teoria dei sistemi	
IV ANNO			84 192 1386 2041	Campi elettromagnetici e circuiti Comunicazioni elettriche Misure elettriche (2) Reti logiche e calcolatori elettronici (2)	196 2439 2041 1386	Controlli automatici Elettronica applicata II Reti logiche e calcolatori elettronici (2) Misure elettriche (2)	
V ANNO			83 251	Calcolo elettronico (3) Economia ed organizzazione aziendale	877 504 2632	Radiotecnica Impianti elettrici Meccanica delle macchine e macchine	
Due materie a scelta tra quelle sottoseguate:							
MATERIE A SCELTA			3569 4126 4132	Bioautomatica Controllo dei processi Elementi di analisi funzionale	123 2037 2034 3980	Chimica fisica dello stato solido Elettronica industriale Elettronica quantistica Sistemi per l'elaborazione dell'informazione	
			4155 2038 2039	Tecnica degli impulsi Statistica applicata Tecnologia dei semiconduttori	4152	Strumentazione biomedica	
			1048 2033	Tecnologie elettroniche Teoria dei circuiti	2032 4154 2017	Tecnica delle microonde Tecniche di controllo Teoria e tecnica della ricerca operativa	
					4138	Linguaggi di programmazione	
	La Facoltà consiglia i seguenti raggruppamenti:						
		Gruppo I (telecomunicazioni)		Gruppo III (informatica)		Gruppo V (biomedica)	
		2033 Teoria dei circuiti		4126 Controllo dei processi		3569 Bioautomatica (obbligatorio)	
		1048 Tecnologie elettroniche		4138 Linguaggi di programmazione		2038 Statistica applicata	
		4155 Tecnica degli impulsi (obbligatorio)		2038 Statistica applicata		4152 Strumentazione biomedica	
		2032 Tecnica delle microonde		3980 Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (obbligatorio)		2017 Teoria e tecnica della ricerca operativa	
		2039 Tecnologia dei semiconduttori		4155 Tecnica degli impulsi			
		Gruppo II (automatica)		2017 Teoria e tecnica della ricerca operativa			
	4126 Controllo dei processi		Gruppo IV (microelettronica)				
	4132 Elementi di analisi funzionale		2039 Tecnologia dei semiconduttori (obbligatorio)				
	2037 Elettronica Industriale		123 Chimica fisica dello stato solido				
	4154 Tecniche di controllo		2034 Elettronica quantistica				
	2017 Teoria e tecnica della ricerca operativa		4155 Tecnica degli impulsi.				

- (1) Per coloro che scelgono i gruppi I, II, III, IV, V.
- (2) A titolo sperimentale si lascia allo studente la libertà di scegliere l'ordine Reti logiche e calcolatori elettronici (1° ciclo), Misure elettriche (2° ciclo) o di scambiare l'ordine suddetto.
- (3) Limitatamente a coloro che si iscrivono al V anno nel corr.a.a., e scelgono i gruppi I, II, III, IV, V.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE - COD. 2007							
Anno di corso	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 406 1380	Analisi matematica II Fisica II Fisica atomica Meccanica razionale			1044	Tecnologia dei materiali nucleari	
III ANNO			189 275 430 490	Complementi di matematiche Elettrotecnica Fisica tecnica Idraulica	422 2631 890	Fisica nucleare Meccanica delle macchine (1) Scienza delle costruzioni	
IV ANNO			409 4115	Fisica del reattore nucleare Teoria dei sistemi	271 4116 663	Elettronica nucleare Controllo del reattore nucleare Macchine	
Una materia a scelta tra quelle sottoelencate.							
V ANNO			517 1059	Impianti nucleari Termotecnica del reattore	730 2042	Misura delle radiazioni e protezioni Progetto del reattore nucleare	
Due materie a scelta tra quelle sottoelencate.							
MATERIE A SCELTA			1383 2046 2047 4127 196 1384 4128 665	Calcolo elettronico Chimica fisica dei materiali nucleari Chimica nucleare Complementi di neutronica Controlli automatici Costruzione di macchine Costruzioni nucleari Macchine e impianti elettrici	2077 4140 2044 2049 3671 1387	Impianti chimici nucleari Neutronica applicata Strumentazione elettronica Tecnologie generali Misure nucleari Strumentazione e regolazione degli impianti	
	La Facoltà consiglia i seguenti raggruppamenti:						
		Gruppo I		Gruppo III		Gruppo V	
		2046	Chimica fisica dei materiali nucleari (IV anno)	665	Macchine e impianti elettrici (IV anno)	1384	Costruzione di macchine (IV anno)
		2047	Chimica nucleare (V anno)	1387	Strumentazione e regolazione degli impianti (V anno)	4128	Costruzioni nucleari (V anno)
		2077	Impianti chimici nucleari (V anno)			2049	Tecnologie generali (V anno)
				3671	Misure nucleari	3671	Misure nucleari
		Gruppo II		Gruppo IV			
		196	Controlli automatici (IV anno)	4127	Complementi di neutronica (IV anno)		
		1383	Calcolo elettronico (V anno)	1383	Calcolo elettronico (V anno)		
	2044	Strumentazione elettronica (V anno)	4140	Neutronica applicata (V anno)			

(1) Sostituito ad ogni effetto da « Meccanica applicata alle macchine ».

Il Direttore Amministrativo
A. FANTAZZINI

Il Preside della Facoltà
F. P. FORABOSCHI

Il Rettore
T. CARNACINI

NOTE ESPLICATIVE SUI RAGGRUPPAMENTI CONSIGLIATI

Ingegneria Civile (Sez. Edile)

I raggruppamenti consigliati dalla Facoltà tengono conto degli indirizzi in rapporto alle prospettive professionali e si propongono d'altronde un quadro abbastanza ampio, con l'obiettivo di una formazione non strettamente specialistica. In tale quadro si possono individuare gli orientamenti emersi in sede di proposte di modifica dello statuto, lasciando peraltro allo studente la facoltà di formare, secondo la L. n. 910 del 1973, un proprio piano di studi caratterizzato da una logica articolazione delle discipline scelte.

In particolare, i raggruppamenti consigliati prevedono:

- per il *gruppo II*: Complementi di Tecnica Urbanistica; Tecnica ed Economia dei Trasporti, un indirizzo più specificamente orientato ai problemi di pianificazione ed economia territoriale;
- per il *gruppo V*: Caratteri distributivi degli edifici; Complementi di Tecnica Urbanistica, un indirizzo di connessione dei problemi di insediamento territoriale dei servizi e dei complessi abitativi con quelli più specifici di una metodologia di progettazione dei sistemi edilizi.

NOTE ESPLICATIVE SUI RAGGRUPPAMENTI CONSIGLIATI

Ingegneria Civile (Sez. Idraulica)

GRUPPO I — Lo studio approfondito della dinamica di quei particolari fluidi che sono gli idrocarburi dà all'ingegnere idraulico la competenza idonea ad affiancarlo all'ingegnere minerario nel fondamentale settore della ricerca e della coltivazione dei giacimenti di gas e petroli.

GRUPPI II E V — Indirizzi costruttivi, spostati verso la regolazione e la gestione delle grandi reti idrografiche, il riassetto dei territori, la protezione delle coste.

GRUPPO III — Indirizzo spiccatamente costruttivo, come chiaramente dimostrano le denominazioni dei Corsi di insegnamento, che ne rispecchiano fedelmente i connotati.

GRUPPO IV — I Corsi tipici dell'Automatica sono stati rielaborati per adattarli alla preparazione di base dell'ingegneria idraulica ed alle applicazioni che ne faranno coloro che vorranno dedicarsi alla gestione e al governo delle risorse idriche del territorio.

GRUPPO VI — Ha lo scopo di orientare la preparazione dell'ingegnere civile idraulico verso i problemi della sistemazione del suolo, con particolare riguardo agli aspetti sia della geo-ingegneria sia della difesa e conservazione del suolo dalla degradazione dovuta ad agenti naturali ed antropici.

NOTE ESPLICATIVE SUI RAGGRUPPAMENTI CONSIGLIATI

Ingegneria Civile (Sez. Trasporti)

GRUPPO I — Complementi di Tecnica Urbanistica, Tecnica della Circolazione - Si caratterizza per l'indirizzo dell'organizzazione dei trasporti in relazione alle caratteristiche ambientali.

GRUPPO II — Tecnica della circolazione - Trazione e propulsione - Riguarda

la conoscenza dei problemi di trasporto, siano essi di organizzazione, siano di trazione.

GRUPPO III — Complementi di Tecnica delle Costruzioni, Geotecnica (sem.), Tecnica delle Fondazioni (sem.), è ad indirizzo prettamente costruttivo, e tratta in particolare argomenti attinenti il settore delle infrastrutture di trasporto, quali la meccanica dei terreni, la struttura delle fondazioni.

GRUPPO IV — Geotecnica (sem.), Impianti speciali idraulici, Tecnica delle fondazioni (sem.). Si caratterizza come il gruppo III, ma approfondisce in particolare la conoscenza riguardante il campo delle costruzioni e degli impianti idraulici.

GRUPPO V — Tecnica della Circolazione, Teoria e Tecnica della Ricerca operativa - Riguarda l'organizzazione dei Trasporti e la conoscenza degli strumenti matematici necessari.

NOTE ESPLICATIVE SUI RAGGRUPPAMENTI CONSIGLIATI

Ingegneria meccanica

Il *gruppo I* si propone l'approfondimento delle conoscenze sui materiali, sulla costruzione di macchine e sull'analisi delle tensioni al fine di una più adeguata valutazione dei parametri di affidabilità degli organi delle macchine.

Il *gruppo II* si propone di fornire le nozioni basilari sui processi e sulle tecnologie di produzione dei materiali da costruzione, sui metodi di organizzazione della produzione e la conoscenza della strumentazione impiegata nelle industrie di trasformazione.

Il *gruppo III* si propone lo studio dei mezzi di trasporto, della loro concezione in relazione all'impiego. Da un lato vengono considerati gli aspetti di progettazione e dall'altro quelli di organizzazione e pianificazione dei trasporti.

NOTE ESPLICATIVE SUI RAGGRUPPAMENTI CONSIGLIATI

Ingegneria Elettrotecnica

Gruppo I. Rappresenta l'indirizzo relativo alle macchine elettriche, esaminate sotto i punti di vista progettuale (Calcolo delle macchine elettriche), costruttivo (Costruzioni elettromeccaniche), di esercizio (Complementi di misure elettriche) e di approfondimento del funzionamento e della dinamica (Complementi di macchine elettriche). Agli insegnamenti suddetti si affiancano due corsi di carattere generale (Costruzione di macchine, Tecnologie generali), un corso dove le macchine sono trattate ai fini specifici della trazione e il corso di Calcolo elettronico, presente anche negli altri Gruppi, per la sua riconosciuta importanza per tutti gli indirizzi.

Gruppo II. Propone un approfondimento nel campo degli impianti elettrici. A tale scopo riunisce tre insegnamenti particolarmente dedicati ai problemi della ge-

nerazione dell'energia elettrica, secondo i tre schemi tuttora largamente prevalenti, e due insegnamenti relativi all'esercizio, al controllo e alla tecnologia degli impianti. Ad essi si aggiunge, oltre al corso di Calcolo elettronico comune a tutti i gruppi, un corso tendente a introdurre anche l'ingegnere elettrotecnico ai problemi connessi con la collocazione ambientale e la realizzazione dei fabbricati industriali.

Gruppo III. Vi confluiscono vari insegnamenti che hanno, seppure in diversa misura, attinenza colla tecnologia dei materiali e colla tecnica costruttiva degli apparati. Ad un corso di carattere generale (Tecnologie generali) e a quello di Calcolo elettronico, comune a tutti i gruppi, si affiancano corsi di approfondimento specifico nel campo dei materiali elettrici, delle costruzioni elettromeccaniche, delle misure elettriche e della tecnologia degli impianti elettrici ad alta tensione.

NOTE ESPLICATIVE SUI RAGGRUPPAMENTI CONSIGLIATI
Ingegneria Chimica

Gruppo I.

Fornisce elementi per lo studio delle caratteristiche e delle proprietà dei materiali, con riferimento alle tecnologie di produzione e di utilizzazione.

Gruppo II.

Fornisce gli elementi per la caratterizzazione e lo studio di un impianto chimico, inteso come sistema.

Gruppo III.

Fornisce elementi di base e tecnici per la realizzazione e la gestione di un impianto chimico.

Gruppo IV.

Fornisce conoscenze di base ed impiantistiche per lo studio dei processi della raffinazione del petrolio e dell'industria petrolchimica.

NOTE ESPLICATIVE SUI RAGGRUPPAMENTI CONSIGLIATI
Ingegneria Mineraria

Il *gruppo I* 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.

Il *gruppo II* ha lo scopo di orientare la preparazione dell'ingegnere verso la ricerca e la produzione dei fluidi del sottosuolo (idrocarburi, vapori endogeni ed ac-

qua) 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.

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

Il *gruppo IV* 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.

NOTE ESPLICATIVE SUI RAGGRUPPAMENTI CONSIGLIATI

Ingegneria Elettronica

Gruppo I (Telecomunicazioni)

Agli insegnamenti fondamentali, nei quali i collegamenti per telecomunicazioni vengono prevalentemente studiati da un punto di vista sistemistico ed impiantistico, fanno seguito i corsi del Gruppo I (telecomunicazioni). Questi si occupano delle strutture fisiche (circuiti e componenti) utilizzate nei collegamenti suddetti, come circuiti elettronici digitali (Tecnica degli impulsi), guide d'onda e circuiti per microonde (Tecnica delle microonde e Teoria dei circuiti), microcircuiti allo stato solido (Tecnologie dei semiconduttori, con la propedeuticità di Elettronica applicata II). Per gli studenti che non frequentano Elettronica applicata II, il corso di Tecnologie dei semiconduttori può essere sostituito con quello di Tecnologie elettroniche.

Gruppo II (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 Tecniche dei Controlli e Controllo dei Processi) e
- 2) di fornire gli strumenti teorici e pratici per un approccio sistemistico ai più diversi problemi dell'ingegneria (corsi di Elementi di Analisi funzionale e Teoria e Tecnica della Ricerca Operativa).

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.

In aggiunta ai corsi sopracitati (caratterizzanti l'indirizzo) i corsi di Sistemi per l'Elaborazione dell'Informazione e di Elettronica Industriale rappresentano utili complementi per la conoscenza degli strumenti con i quali più frequentemente l'ingegnere sistemista si trova ad operare.

Gruppo III (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 delle proprietà caratterizzanti i diversi linguaggi di programmazione; il corso di Teoria e Tecnica della Ricerca Operativa si occupa della definizione e utilizzazione di algoritmi numerici e combinatori per la soluzione automatica di problemi di gestione ottima delle risorse.

I corsi di Tecnica degli Impulsi, Statistica Applicata e Controllo dei Processi, in comune con altri indirizzi di laurea, costituiscono un approfondimento di problemi relativi all'Informatica, ma sviluppati nell'ambito dell'Elettronica, Automatica, e Matematica Applicata.

Gruppo IV (Microelettronica)

Agli insegnamenti fondamentali, quali Elettronica applicata I e II, Reti logiche e calcolatori elettronici e Tecnica degli impulsi, che forniscono la base culturale e gli elementi essenziali della teoria dei circuiti e dei componenti elettronici, fanno seguito i corsi del Gruppo IV (Microelettronica). In questi si sviluppano i problemi ingegneristici della progettazione e della fabbricazione dei moderni circuiti integrati allo stato solido (Tecnologie dei semiconduttori) e si completano le conoscenze fisiche sui dispositivi elettronici includendovi anche i componenti optoelettronici, quali laser, fotorivelatori, celle solari etc. (Elettronica quantistica). Per gli studenti interessati ad approfondire gli aspetti chimico-fisici della teoria dello stato solido è disponibile il corso di Chimica-fisica dello stato solido.

Gruppo V (Biomedica)

L'indirizzo di Biomedica (Gruppo V) si propone di dare agli studenti di Ingegneria Elettronica le basi per l'inserimento professionale in un ambiente medico-biologico. L'indirizzo comprende due corsi specifici (Bioautomatica e Strumentazione biomedica) 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. Corsi di altri indirizzi che possono essere utilmente affiancati ai corsi suddetti sono: Teoria e tecnica della ricerca operativa, Controllo dei processi, Elementi di analisi funzionale.

NOTE ESPLICATIVE SUI RAGGRUPPAMENTI CONSIGLIATI

*Ingegneria Nucleare**Gruppo I*

I corsi in indirizzo impartiscono gli strumenti concettuali della scienza dei materiali e trattano in modo sistematico le problematiche concernenti sia il comportamento in pila degli elementi di combustibile che le trasformazioni che il combustibile subisce al di fuori del reattore, dalla fabbricazione al condizionamento dei rifiuti.

Gruppo III

L'indirizzo Elettrotecnico per il Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare (indirizzo n. 3) è costituito da tre Corsi, di cui uno al 4° Anno (Macchine e Impianti Elettrici) e due al 5° Anno.

Questo indirizzo si propone di fornire agli allievi ingegneri nucleari (tramite un approccio didattico tipicamente interdisciplinare) i criteri di studio, i principi di funzionamento, le caratteristiche di esercizio, gli elementi di tecnologia, di regolazione e di strumentazione relativi alle macchine ed impianti elettrici presenti nelle Centrali Nucleari di tipo provato e di tipo avanzato: l'obiettivo è pertanto quello di fare sì che gli allievi ingegneri nucleari si impadroniscano degli strumenti indispensabili sia per un rigoroso esercizio della professione in termini di eventuale gestione degli impianti sia per attività di ricerca applicata.

Gruppo IV

Le discipline che caratterizzano questo raggruppamento hanno lo scopo non solo di ampliare le conoscenze fisiche di base, ma anche di illustrare metodi, sia di calcolo che di carattere sperimentale, connessi con la progettazione neutronica di un reattore nucleare. In particolare vengono sviluppate applicazioni della teoria del trasporto dei neutroni e di codici numerici per il calcolo dei più importanti parametri di interesse per la fisica e l'ingegneria del reattore nucleare.

Gruppo V

Costituisce un indirizzo costruttivo/meccanico in relazione alle strutture ed ai componenti presenti in un impianto nucleare.

I tre corsi del raggruppamento consentono di acquisire le conoscenze fondamentali e le tecniche indispensabili per affrontare il calcolo, la progettazione e la costruzione di componenti nelle previste condizioni di funzionamento e sulla base del comportamento dei materiali e delle metodologie di realizzazione.

DATI STATISTICI

A) Numero di studenti iscritti negli a.a. 73/74 e 74/75 e numero dei laureati negli a.a. 71/72 e 72/73.

N.	Corso di Laurea	N. studenti iscritti per anno di corso						F.C.	N. totale iscritti	N. Laureati	
		A.A.	1	2	3	4	5			A.A.	
02	Ing. Meccanica	73/74	332	220	282	319	269	1102	2192	71/72	174
		74/75	283	323	397	258	315	692	2268	72/73	175
03	Ing. Elettrotecnica	73/74	68	95	125	103	94	283	768	71/72	94
		74/75	69	100	131	108	106	159	673	72/73	101
04	Ing. Chimica	73/74	59	106	127	58	105	191	646	71/72	50
		74/75	63	86	132	117	52	177	627	72/73	111
05	Ing. Mineraria	73/74	10	4	17	20	18	42	111	71/72	14
		74/75	14	10	15	22	19	21	111	72/73	18
06	Ing. Elettronica	73/74	327	338	404	400	336	776	2581	71/72	211
		74/75	412	323	462	373	397	568	2535	72/73	177
07	Ing. Nucleare	73/74	77	60	43	29	40	103	352	71/72	26
		74/75	97	73	78	40	30	83	401	72/73	28
08	Ing. Civile sez. Edile	73/74	380	311	308	323	209	729	2260	71/72	73
		74/75	326	393	526	247	284	425	2201	72/73	115
09	Ing. Civile sez. Idraulica	73/74	24	13	23	36	51	116	263	71/72	39
		74/75	12	19	28	30	34	34	78	72/73	33
10	Ing. Civile sez. Trasporti	73/74	37	43	61	81	184	265	671	71/72	48
		74/75	40	39	69	62	110	236	556	72/73	88
Totale		73/74	1314	1190	1390	1369	1306	3607	9844	71/72	729
Totale		74/75	1316	1366	1838	1257	1347	2405	9450	72/73	846

B) Numero di studenti italiani iscritti nell'a.a. 75/76.

Anno Acc. 75/76 Studenti (* italiani *) per facoltà, 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.
CORSI DI LAUREA																
02	232	3	146	2	192	1	188	230	2	230	2	954	1	1950	9	
03	72	39	1	57	41	77	1	174	460	2	190	4	482	13		
04	60	1	36	1	58	2	47	2	91	3	35	99	1			
05	20	1	7	10	10	17										
06	390	11	275	10	286	7	292	0	342	3	796	6	2381	45		
07	125	4	82	2	57	3	54	5	39		96	4	453	18		
08	324	16	219	13	256	16	284	9	200	7	644	28	1847	83		
09	30	1	5	18	20	25	1	85	183	2	200	3	389	12		
10	29	1	31	1	39	2	31	1	59	4						
** Totali Facoltà **	1282	38	840	30	973	33	887	25	1088	21	3174	38	8244	105		

C) Numero di studenti stranieri iscritti nell'a.a. 75/76

Anno Acc. 75/76 Studenti (* stranieri *) per facoltà, 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	22	18	9	15	17								82	163		
03	5	18	1	21	28	1	34						80	178	3	
04	11	1	25	9	1	21	1	21	21				61	148	7	
05	9	1	2						2				7	16	1	
06	16	1	7	15	1	26	3	28	1				77	169	6	
07			2						2	1			8	12	2	
08	23	2	28	3	44	5	29	1	41				135	302	21	
09	1								5				20	26		
10	1	1	3	3	1	18							42	68	7	
** Totali Facoltà **	84	5	103	4	101	7	114	7	168	2	512	22	1062	47		

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

Anno Accademico Corsi di Laurea	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75
Ing. Meccanica	160	180	178	229	235
Elettronica	142	105	121	107	111
Chimica	65	54	64	53	52
Mineraria	17	14	18	12	25
Elettronica	196	219	183	279	281
Nucleare	22	28	28	31	45
Civile edile	98	81	132	122	188
Civile idraulica	48	49	38	40	42
Civile trasporti	47	57	111	136	107
Totale Laureati Ingegneria	795	787	873	1009	1086

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: **Antonio Ambrosetti** prof. straord.

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. CECONI, 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.

P. CORRADINI, *Chimica Generale*, CEA.

P. SILVESTRONI, *Fondamenti di Chimica*, Ed. Veschi, Roma.

1362

DISEGNODocenti: **Renzo Balletti** prof. inc. stab. (Civili A-K)**Valerio Valeriani** prof. inc. stab. (Civili L-Z)*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, insieme, particolari ecc.).
- Figure piane: curve notevoli, raccordi, archi policentrici.
- Quote: scopo delle quote e criteri di quotatura; sistemi di quote e scelta dei riferimenti.
- Nozioni elementari di geometria proiettiva grafica.
- Proiezioni ortogonali.
- Sezioni piane (scopi, convenzioni, norme); sezioni cilindriche.
- Proiezioni oblique: teoria delle ombre ed applicazioni.
- Proiezioni quotate.
- Prospettiva concorrente (frontale ed accidentale).
- Assonometria (ortogonale ed obliqua); assonometrie unificate.
- Disegno di superfici semplici e complesse (rigate, di rotazione, elicoidali) particolarmente importanti per le opere di ingegneria civile. Innesti e raccordi di superfici; superfici sviluppabili. 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 proiettiva 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 IIDocenti: **Giorgio Praderio** prof. inc. stab. (Civili A-K)**Alberto Pratelli** prof. inc. (Civili L-Z)*Programma*

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

*Testi consigliati*L. BENEVOLO, *Storia dell'Architettura Moderna*, Ed. Laterza.L. BENEVOLO, *Il Disegno*, Ed. Laterza.

Riviste di Architettura ed Ingegneria.

Manuale del NEUFERT

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

Esercitazioni ed esami

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

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

Propedeuticità consigliate

Essenzialmente Disegno e Geometria.

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

1366

FISICA IDocente: **Ignazio Massa** prof. inc. stab.*Programma***A. Elementi di Calcolo Vettoriale**

Concetto di vettore. Operazioni con i vettori. Rappresentazione cartesiana dei vettori. Vettori applicati. Momento di un vettore rispetto ad un punto e rispetto ad un asse. Sistemi di vettori applicati. Cambiamento del centro di riduzione. Sistemi equivalenti di vettori. Derivata di un vettore. Campo vettoriale. Gradiente. Integrali di vettori.

B. Cinematica

Sistemi di riferimento.

B.1. Cinematica del punto materiale.

Concetto di punto materiale. Coordinate cartesiane, cilindriche, polari. Traiettoria. Equazioni parametriche del moto. Equazione oraria. Spostamento. Velocità e accelerazione. Classificazione dei moti. Problemi di cinematica del punto: problema diretto, problema inverso. Studio di alcuni semplici moti rettilinei. Moto piano in coordinate cartesiane e in coordinate polari. Moto centrale. Moto dei pianeti (cenni).

B.2. Cinematica dei sistemi rigidi.

Concetto di corpo rigido. Moto traslatorio. Moto rotatorio assiale. Moto rotatorio polare. Moto rototraslatorio. Velocità e accelerazione dei punti di un corpo rigido.

B.3. Moto relativo.

Impostazione del problema. Velocità e accelerazione nel moto relativo.

C. Dinamica

Concetto di forza. Misura statica delle forze.

C.1. Dinamica del punto materiale

Principio d'inerzia. Riferimenti inerziali. Il II principio della dinamica. Concetto di massa inerziale. Indipendenza delle azioni simultanee. Moto dei proiettili. Reazioni vincolari. Problemi di dinamica del punto materiale. Quantità di moto e momento angolare di un punto materiale. Impulso e momento d'impulso di una forza. Teorema dell'impulso e della quantità di moto. Teorema del momento della quantità di moto. Studio di semplici problemi unidimensionali di dinamica del punto. Studio del problema (bidimensionale) del moto sotto l'azione di una forza gravitazionale (cenni). Pendolo semplice.

C.2. Dinamica dei sistemi di punti

Il III principio della dinamica: conservazione della quantità di moto e del momento angolare. Equazioni cardinali. Centro di massa e sue proprietà.

C.3. Dinamica dei sistemi rigidi

Esempi di calcolo di centri di massa. Momenti di inerzia e loro calcolo. Teorema di Huygens-Steiner. Studio del moto di un corpo rigido con un asse fisso. Pendolo fisso.

D. *Lavoro ed energia*

Concetto di lavoro. Esempi di calcolo di lavoro. Potenza. Energia cinetica. Teorema delle forze vive. Campi conservativi. Energia potenziale. Conservazione dell'energia meccanica. Teorema di Koenig. Energia cinetica di un sistema rigido. Il principio di conservazione dell'energia.

E. *Termodinamica.*

Punto di vista termodinamico: grandezze macroscopiche.

E.1. Stato di un sistema termodinamico. Equilibrio termico e termodinamico. Trasformazioni quasi statiche. Cenni sulla reversibilità. Temperatura. Termometri a gas.

E.2. *Trasformazioni di un sistema termodinamico. Il I principio della termodinamica.*

Lavoro. Equazioni di stato. Gas perfetti. Il I principio della termodinamica. Energia interna. Calore. Funzioni di stato e differenziali esatti. Applicazioni del I principio ai sistemi idrostatici. Capacità termica.

E.3. *Il II principio della termodinamica*

Macchine termiche. Rendimento. Formulazioni di Lord Kelvin e di Clausius. Equivalenza dei due enunciati. Ciclo di Carnot. Teorema di Carnot. Temperatura termodinamica assoluta.

E.4. *Entropia.*

Teorema di Clausius ed entropia. Principio di aumento dell'entropia e II principio della termodinamica. Reversibilità e irreversibilità. Uso della grandezza entropia nei sistemi idrostatici.

Testi consigliati

Meccanica

P. VERONESI, E. FUSCHINI, *Fondamenti di Meccanica classica*, Ed. Cooperativa Libreria Universitaria, Bologna.

ALONSO, FINN, *Elementi di Fisica per l'Università*, Volume I, Ed. Addison-Wesley.

Termodinamica

D. PESCHETTI, *Termodinamica*, Ed. Piccin.

M.W. ZEMANSKY, *Calore e termodinamica*, I parte, Ed. Zanichelli.

Esame scritto: un problema di meccanica più un problema di termodinamica. Ammissione all'orale con un minimo di 10/30. Esame orale sul programma, con possibile richiesta di facili applicazioni.

1370

FISICA IIDocente: **Giulio Pozzi** prof. inc.*Programma*

Elettrostatica Magnetostatica. La Corrente elettrica continua. Campo magnetico prodotto da correnti stazionarie. Campi elettromagnetici dipendenti dal tempo. Propagazione per onde. Onde elettromagnetiche. Riflessione. Rifrazione. Polarizzazione. Geometria della propagazione per onde: ottica geometrica e strumenti ottici. Interferenza. Diffrazione.

*Testi consigliati*E. AMALDI, *Fisica Generale, parte II*, Lib. Veschi (Roma).

Appunti del Corso di Fisica II per gli studenti di ingegneria elettronica, Coop. Libreria Universitaria Ed. (BO).

ALONSO e FINN, *Elementi di Fisica per l'Università, II vol. (campi e onde)*, Addison-Wesley Publishing Co.

Propedeuticità consigliate: Analisi Matematica II.

1374

GEOMETRIADocenti: **Calogero Tinaglia** prof. inc. stab. (Civili A-K)**Libero Verardi** prof. inc. (Civili L-Z)*Programma*

Algebra: numeri interi, razionali, reali, complessi. Polinomi ed equazioni. Matrici e determinanti. Sistemi lineari. Spazi vettoriali, sottospazi, varietà lineari; la dimensione. Trasformazioni: uguaglianze, affinità. Lo spazio proiettivo. Geometria analitica del piano con qualche nozione di geometria differenziale. Le coniche. Il piano proiettivo. Geometria analitica dello spazio. Le quadriche.

*Testi consigliati*M. VILLA, *Lezioni di Geometria per studenti di Ingegneria*, Ed. CEDAM.*Esercizi di Geometria*, Ed. Pitagora.

Prova orale: per accedervi occorre aver superato in precedenza una prova scritta.

661

LITOLOGIA E GEOLOGIADocente: **Giulio Cesare Carloni** prof. inc. stab.*Programma**Parte prima: Litologia:*

1. Generalità: Minerali e rocce. Interno terrestre. Criteri di classificazione delle rocce. 2. Processo eruttivo: Plutonismo e Vulcanismo. 3. Processo sedimentato. 4. Processo metamorfico. 5. Elementi di geotecnica.

Parte seconda: Geologia:

6. Carte geologiche e carte tematiche: Elementi di stratigrafia. Cenni di tettonica e principali teorie orogenetiche. Sismologia. 7. Difesa del suolo: dissesto idrogeologico e sistemazione dei bacini imbriferi e degli alvei fluviali. 8. Frane e movimenti franosi: causa e difesa dalle frane. 9. Idrogeologia: generalità. Acque sotterranee e loro ricerca, Difesa delle coste. Problemi geologico-tecnici per le dighe. 10. Geologia delle strade, delle fondazioni e delle gallerie.

Conclusioni:

Geologo ed Ingegnere civile. Le Scienze Geologiche e le altre Scienze. La Geologia ambientale e l'Ingegneria del Territorio.

Testi consigliati

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

CAILLEUX A., *La terra inquieta*, ed. Zanichelli.

PENTA F., *Frane e movimenti franosi*, ed. Siderea.

L'esame è diviso in due parti di cui quella relativa alla Litologia è sperimentale sulla base di quanto gli studenti hanno appreso nei cicli di esercitazioni pratiche in Laboratorio e sul terreno.

Tesi di Laurea:

Di geologia applicata all'Ingegneria per sistemazione di versanti instabili, progettazione di strade, ricerche idriche e riassetto territoriale in collaborazione con gli istituti di Architettura ed Urbanistica, di Costruzioni idrauliche, di Topografia e Geodesia e di Scienze minerarie.

1378

MECCANICA RAZIONALEDocenti: **Luigi Caprioli** prof. ord. (Civili A-K)

Tommaso Ruggeri prof. inc. stab. (Civili L-Z)

*Programma**Richiami di calcolo vettoriale*

Vettori. Operazioni vett.. Vettori ortogonali. Rappr. cartesiana. Vettori varia-

bili, derivazione: cenno di Geometria diff.le intrinseca delle curve. Vettori applicati (v.a.). Sistemi v.a.. Equivalenza di sistemi di (v.a.); teoremi relativi. Particolari sistemi di v.a.: v.a. paralleli, centro. V.a. complanari, poligono funicolare, teorema di Culmann.

Cinematica

Richiami di Cinematica del punto: Velocità, accelerazione. Moto rettilineo, moti circolare ed elicoidale. Moti piani in coordinate polari, velocità areale, teorema di Binet. Cinematica dei sistemi rigidi; Condizioni di rigidità. Assi solidali. Formole di Poisson, distribuzione delle velocità dei punti di un sistema rigido. Moti ed atti di moto, traslatorio, rotatorio, elicoidale. Teorema di Mozzi. Distribuzione delle accelerazioni.

Cinematica relativa. Teoremi di composizione delle velocità e delle accelerazioni. Derivate di un vettore rispetto ad osservatori in moto relativo.

Particolari moti rigidi: Moti piani, centro istantaneo, base e rulletta, polo delle accelerazioni. Moto del corpo rigido con un punto fisso, moto di precessione. Terna solidale ed angoli di Eulero.

Statica

Punto materiale. Sistemi di punti materiali. Coordinate ordinarie, coordinate lagrangiane. Vincoli: loro classificazione e proprietà. Forza, sistemi di forze. Forza peso. Centro di massa, baricentro. Postulati fondamentali della Statica. Equilibrio delle forze applicate ad un punto e condizioni di quiete del punto. Equilibrio dei sistemi di forze e condizioni necessarie per la quiete di un sistema meccanico libero o vincolato. Condizioni sufficienti per la quiete dei sistemi rigidi, liberi o vincolati. Metodo delle reazioni vincolari e applicazioni. Vincoli con attrito.

Principio dei lavori virtuali: Spostamenti virtuali, lavoro virtuale. Principio dei lavori virtuali: giustificazioni ed applicazioni. Forze conservative, potenziale. Stabilità dell'equilibrio.

Equilibrio dei fili: Condizioni necessarie e sufficienti per l'equilibrio di un filo, problemi fondamentali.

Dinamica

Leggi di Newton (richiami). Impulso e quantità di moto. Forze impulsive. Momento della quantità di moto. Lavoro. Energia cinetica. Teoremi delle forze vive e di conservazione dell'energia. Unità di misura e dimensioni delle grandezze meccaniche.

Dinamica del punto: Condizioni iniziali. Integrali primi del moto. Moto del grave in presenza o meno di resistenze (viscose) del mezzo. Moto del punto su traiett. prestabilite e sotto l'azione di forza posizionale; caso della forza elastica, in presenza o meno di resistenza viscosa. Forze periodiche, oscillazioni forzate, risonanza. Pendolo ideale. Moto su superficie prestabilita. Pendolo sferico.

Dinamica relativa: Moto ed equilibrio relativo dal punto. Moto dei gravi rispetto al riferimento terrestre. Pendolo di Foucault. Problema dei due corpi.

Dinamica dei sistemi: Energia cinetica, quantità di moto, momento della quantità di moto di un sistema meccanico. Caso part. del sistema rigido. Momen-

ti d'inerzia, Ellissoide d'inverzia, momenti principali d'inerzia. Teorema di Huyghens. Teoremi cardinali della Dinamica dei sistemi. Teoremi delle forze vive e della energia. Moto del corpo rigido con asse fisso, pendolo fisico. Moto del corpo rigido libero o vincolato, equazioni di Eulero. Moto alla Poincot. Principio dell'effetto giroscopico. Moto del corpo rigido soggetto a forze impulsive. Urto.

Principio di D'Alembert: Reazioni vincolari in regime dinamico e moti impulsivi.

Equazioni di Lagrange: Loro deduzione, applicazioni, discussione. Sollecitazioni dipendenti da potenziali generalizzati.

Stabilità del moto (e dell'equilibrio): spazio delle configurazioni e spazio delle fasi. Stabilità alla Liapounoff, stabilità assintotica, stabilità orbitale.

Piccole oscillazioni di un sistema attorno ad una configurazione di equilibrio stabile. Frequenze fondamentali.

Dinamica dei fili e delle membrane (cenno, p.fac.^{va}). *Meccanica relativistica* (cenno, p.fac.^{va})

Testi consigliati:

- D. GRAFFI, *Elementi di Meccanica Razionale*, Pàtron, Bologna.
 A. PIGNEDOLI, *Elementi di Statica Grafica*, Cedam, Padova.
 B. FINZI, *Meccanica Razionale*, Zanichelli, Bologna.
 S. TIMOSHENKO, D.H. JOUNG, *Eng. Mechanics (Statics, Dynamics)*, Mc Gr.Hill, N.Y.
 P. JANSSENS, *Mécanique Rationelle*, Dunod, Paris.
 D.E. RUTHERFORD, *Classical Mechanics*, Oliv. and. B. London.
 H. GOLDSTEIN, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Zanichelli, Bologna.
 P.G. BORDONI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Veschi, Roma.
 G. GRIOLI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Libr. Cortina, Padova.
 G. FERRARESE, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Veschi, Roma.
 P. BENVENUTI, G. MASCHIO, *Compl. ed Eserc. di Meccanica Razionale*, Ed. K. Roma.

Trattati: T. Levi-Civita, E. Amaldi, *Meccanica Razionale*, Zanichelli, Bologna. P. Appel, *Mécanique Rationelle*, Gauth. Vill., Paris. C. Agostinelli, A. Pignedoli, *Meccanica Razi onale*, Zanichelli, Bologna.

Esercizi: D. Graffi, *Esercizi di Meccanica Raz.* Pàtron, Bologna. B. Finzi, *Udeschini, Eserc. di Meccanica Razionale*, Tamburini, Milano. E. Tonti, *Risoluzione di esercizi di Mecc. Raz.*, La Prora, Milano. M.R. Spiegel, *Theory and problems on Th.Mech.*, Schaum's outlines Series, Mc Gr.Hill, New-York. G. Colombo, U. Grioli, *Eserc. di Meccanica Raz.*, Borghero, Padova.

1043

TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATADocente: **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 ufficiali edite dalla Coop. Universitaria - Bologna
TAVASCI, *Tecnologia dei materiali e chimica applicata*, Ed. Tamburini, Milano.

L'ora settimanale di esercitazioni è utilizzata come ora supplementare di lezione.

Esame orale.

Tesi: In collaborazione con altri Istituti della Sezione Civile (Architettura) relativa a progetti per i quali è richiesta una conoscenza dei processi tecnologici e delle caratteristiche dei materiali.

Propedeuticità consigliata: Chimica.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

Programmi delle materie di insegnamento del **triennio di applicazione** comuni a tutte le sezioni.

51

ARCHITETTURA TECNICA

Docenti: **Ivo Tagliaventi** prof. straordinario. (Civili A-K)

Giampiero Cuppini prof. incaricato. (Civili L-Z)

Lezioni

1. *Analisi storica dell'evoluzione dell'edilizia abitativa e dell'ambiente urbanocomo base conoscitiva delle categorie fondamentali per lo sviluppo dell'attività architettonica e urbanistica.*
2. *Problemi di metodo progettuale in relazione all'organizzazione della domanda e ai processi di industrializzazione edilizia*
 - 2.1. Problemi di gestione: modelli usuali e partecipazione, qualificazione della domanda, determinazione di sistemi di prestazioni necessarie, come base di una normativa esigenziale.
 - 2.2. Problemi di razionalizzazione delle strutture produttive e tecniche di controllo della progettazione: rapporto tra tecnologia, organizzazione del progetto e delle fasi esecutive.
 - 2.3. Rapporto fra progettazione e metodo: uso delle griglie di coordinamento dimensionale ai diversi livelli.
 - 2.4. Criteri applicativi desunti dal confronto fra requisiti e prestazioni a livello tipologico.
 - 2.5. Esempificazioni di interventi globali realizzati con sistemi avanzati di industrializzazione edilizia.
 - 2.6. Metodologia d'uso di sistemi edilizi industrializzati, con riferimento alle tecnologie collaterali e all'uso dei materiali.

Esercitazioni

I Corsi prevedono, a livello di esercitazioni, il lavoro di verifica dei concetti e dei fenomeni esposti attraverso studi rivolti a temi annuali specifici e concernenti aspetti dell'habitat. Tale lavoro trova conclusione in un progetto trattato a livello generale per gruppi di lavoro e a scala maggiore a livello individuale, e consiste in elaborati a diverse e opportune scale relativi al tema prescelto e ai requisiti che la ricerca mette in luce nel suo farsi.

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

2005

COMPLEMENTI DI ARCHITETTURA TECNICADocenti: **Adolfo Cesare Dell'Acqua** prof. inc. (Civili A-K)**Franco Nuti** prof. inc. (Civili L-Z)

I Corsi si propongono di fornire le informazioni culturali e gli strumenti di metodo per l'analisi dei rapporti tra tecnologia ed architettura e per l'integrazione della tecnologia nel metodo e nel processo di progettazione, avendo per finalità specifica la fase applicativa della progettazione del sistema edilizio, sulla base della formazione metodologica generale e degli elementi operativi e progettuali che sono oggetto dei Corsi di Architettura Tecnica.

I Corsi si collocano, quindi, in una prospettiva di formazione professionale, come esperienza progettuale specificamente riferita alla definizione dei componenti del sistema edilizio. In tale ambito disciplinare i Corsi si integrano, coordinandosi, sia con insegnamenti finalizzati alla progettazione architettonica, sia con insegnamenti specifici del campo fisico-tecnico, tecnologico e statico-costruttivo.

Programma

1. Metodologia di progettazione del sistema e dei componenti edilizi; analisi delle esigenze funzionali; individuazione dei requisiti e valutazione delle prestazioni dei componenti.
2. Il processo di industrializzazione edilizia; analisi e valutazione della situazione attuale; evoluzione del processo e modelli operativi.
3. Analisi tipologica dei sistemi costruttivi e delle loro relazioni con le tipologie edilizie; rapporti tra i problemi tecnologico-costruttivi e gli aspetti ambientali, formali e di relazione dell'organismo architettonico.
4. Morfologia dei sistemi costruttivi e dei loro componenti; individuazione di elementi utili alla progettazione ed esemplificazione attraverso modelli.
5. Analisi e studio delle diverse classi di elementi che compongono il sistema costruttivo.
6. Aspetti applicativi della normativa qualitativa e dimensionale; coordinamento dimensionale dei componenti e modulazione nel sistema costruttivo.
7. Elementi di raccordo con altre discipline riguardanti la progettazione architettonica (a livello metodologico e operativo); le tecnologie dei materiali e le tecniche costruttive e impiantistiche.

*Testi consigliati**Parte metodologica:*

- A. MAGNAGHI, *L'organizzazione del metaprogetto*, F. Angeli, Milano 1973.
 P.L. SPADOLINI, *Design e tecnologia*, L. Parma, Bologna 1974.

Parte tipologie, tecnologia ed architettura:

- C. SIEGEL, *Struttura e forma nell'architettura moderna*, Celi, Bologna 1968.
 A. PETRIGNANI, *Tecnologie dell'architettura*, Gorlich, Milano 1967.

Dispense dei corsi di Architettura tecnica e Complementi di Architettura tecnica.

Parte industrializzazione e coordinamento modulare:

P.N. MAGGI, G. TURCHINI, E. ZAMBELLI, *Il processo edilizio industrializzato*, F. Angeli, Milano, 1971.

P.N. MAGGI, L. MORRA, *Coordinazione modulare*, F. Angeli, Milano 1975.

M. OLIVERI, *Prefabbricazione o metaprogetto edilizio*, Etas Kompass, Milano 1968.

Tesi di laurea

Elementi metodologici nella progettazione dei componenti edilizi. Studio degli elementi e del sistema costruttivo in rapporto agli spazi funzionali.

Aspetti e problematiche connesse all'industrializzazione edilizia.

Collegamenti con i corsi di indirizzo architettonico (Disegno II, Architettura tecnica, Caratteri distributivi degli edifici, Architettura e composizione architettonica) e con i corsi di Tecnologia dei materiali e chimica applicata, Fisica tecnica, Impianti tecnici civili, Scienza delle costruzioni e Tecnica delle costruzioni.

Esercitazioni consistenti nello svolgimento in gruppi di lavoro, di temi riguardanti:

- a) Analisi e valutazione delle prestazioni dei componenti edilizi;
- b) Elaborazione di proposte progettuali in rapporto alla diversa destinazione funzionale dell'edificio.

Esami costituiti da due fasi:

1. Discussione del tema svolto singolarmente, all'interno del gruppo di lavoro.
2. Esposizione argomenti previsti dal programma del corso.

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

2010

COMPLEMENTI DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI

Docente: Claudio Ceccoli prof. inc.

Le lastre caricate nel loro piano. Le equazioni fondamentali per il calcolo dello stato di tensione. L'equazione di Maxwell-Airy. Le equazioni fondamentali dello stato di deformazione, equazioni di Navier. Soluzione con le differenze finite. Soluzione in forma di polinomi. Soluzione in serie trigonometriche. La trave parete irrigidita lungo il bordo inferiore. Notizie pratiche ed esempi costruttivi. *Le lastre curve di rivoluzione.* Definizioni e relazioni di carattere geometrico. Le azioni interne. Il regime di membrana con carichi aventi simmetria radiale. Il regime di lastra: la lastra cilindrica, la lastra sferica, la soluzione semplificata di Geckeler. Sistemi di lastre curve di rivoluzione. Notizie pratiche ed esempi costruttivi. *Le lastre curve di forma qualsiasi.* Definizioni e relazioni di carattere geometrico. Il regime di membrana. Le membrane cilindriche a direttrice poligonale. Le volte scatolari precompresse. Soluzione trigonometrica delle volte scatolari. Le membrane cilindriche a direttrice qualsiasi. Le lastre di traslazione snelle. Il calcolo delle volte come travi. La lastra cilindrica snella con i bordi rettilinei im-

pediti 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 Reyleigh, l'influenza della massa del vincolo. Vibrazioni forzate. Caso generale di una forza variabile non periodica. Studio delle vibrazioni naturali.

198

COSTRUZIONE DI PONTI

Docente: Bruno Bottau prof. ord. (inc.)

Programma

Parte prima — Considerazioni generali sulla progettazione e sulla costruzione di ponti. Lo studio statico. Teoria generale delle linee di influenza. I diagrammi delle sollecitazioni massime e minime per la trave liberamente appoggiata. Strutture staticamente determinate a parete piena e reticolari: trave liberamente appoggiata; trave liberamente appoggiata con sbalzi; trave Gerber. Arco a tre cerniere. Ponte sospeso. Strutture staticamente indeterminate. Trave continua, trave continua a 4 appoggi con cerniera; travi incastrate; telai semplici e a più campate. Arco a due cerniere. Arco a spinta eliminata. Arco incastrato. Cenno sul ponte sospeso.

Parte seconda — I materiali impiegati nei ponti. La sovrastruttura dei ponti in muratura, cemento armato, ferro. Appoggi, cerniere, pile, spalle, fondazioni normali, su pali, pneumatiche. Effetto sui ponti del vento, della frenatura, della forza centrifuga, della temperatura. La ripartizione trasversale dei carichi, gli sforzi secondari nelle aste delle travi reticolari, chiodature e saldature.

Parte terza — Costruzione e montaggio dei ponti. Le centinature ed il disarmo. Le operazioni di collaudo. Il calcolo delle deformazioni dei ponti. La manutenzione.

Esercitazioni — Progetto di un Ponte.

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.

204

Costruzione di Strade, Ferrovie ed AeroportiDocente: **Bruno Bottau** 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 costruzione dei rilevati. Consolidamento e compattazione dei terreni. Stabilità delle scarpate. Preparazione del piano di posa. Spinta delle terre. Muri di sostegno di vario tipo. Opere di protezione e continuità del corpo stradale. Opere aeree di continuità: ponti, ponticelli, ecc. Ubicazioni, luci, tipo dei ponti; disposizioni di imbocco e di 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.

Esercitazioni: Compilazione di un progetto di strada ordinaria. Studio di opere d'arte. Visita a cantieri di costruzione e ad opere eseguite. Assistenza a prove di laboratorio.

275

ELETTROTECNICADocenti: **Carla Tassoni** prof. inc. (Civili A-K)**Paolo R. Ghigi** prof. inc. (Civili L-Z)*Programma*

Richiami di elettromagnetismo. Circuiti elettrici in regime stazionario e in regime sinusoidale monofase e trifase. Teoria del funzionamento e impiego delle principali macchine elettriche: trasformatori, sincroni, asincroni, e macchine in corrente continua. Conversione statica dell'energia. Impianti elettrici: sistemi di distribuzione, apparecchiature degli impianti, terre. Protezione contro gli infortuni.

Testi consigliati

Appunti informali del docente.

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

Le Esercitazioni sia numeriche che di laboratorio e le visite tecniche sono facoltative. Esame orale.

Tesi di laurea

Progetti di impianti elettrici di complessi civili e industriali.

Corsi Coordinati: Fisica Tecnica, Urbanistica, Architettura, Impianti tecnici civili.

430

FISICA TECNICA (per Civili e Minerari)Docente: **Arturo Giulianini** prof. ord. (Civili A-K, e Minerari)**Enrico Lorenzini** prof. inc. (Civili L-Z)*Programma**1) Termodinamica applicata**Premesse:*

Sistemi di unità di misura delle grandezze geometriche meccaniche - Richiami sulla statica dei fluidi - Misura della temperatura - Unità di misura - Equilibrio termodinamico - Stato fisico - Rappresentazione grafica del diagramma (P.V.) - Lavoro esterno - Sorgenti di calore.

I Principio della Termodinamica:

Energia interna - Entalpia - Applicazione del primo principio ad alcune trasformazioni speciali - Osservazioni critiche - Trasformazione di un corpo omogeneo - Regime stazionario - Bilancio energetico di sistemi in moto - Coefficiente economico di un motore termico - Effetto utile di una macchina frigorifera.

Il Principio della Termodinamica:

Enunciato secondo Kelvin e secondo Clausius - Trasformazioni invertibili - Teorema di Carnot - Scala termodinamica della temperatura - Entropia - Trattazione elementare e rigorosa dell'entropia - Teorema dell'aumento dell'entropia per sistemi isolati - Osservazioni critiche - Diagramma entropico - Energia libera - Potenziali termodinamici.

Gas perfetti:

Stati fisici di un fluido - Equazione dello stato fisico dei gas perfetti - Energia interna dei gas perfetti - Ciclo di Carnot percorso da un gas perfetto - Calore specifico dei gas perfetti - Trasformazione adiabatica invertibile - Entropia dei gas perfetti - Alcune trasformazioni speciali dei gas perfetti - Trasformazioni politropiche - Diagramma entropico e di Mollier per i gas perfetti - Variazione del calore specifico dei gas perfetti con la temperatura - Equazione di stato di una miscela di gas perfetti - Energia interna ed entalpia di miscele di gas perfetti.

Vapori saturi:

Generalità - Entalpia ed energia interna di un vapore saturo - Equazione di Clapeyron - Entropia dei vapori saturi - Alcune trasformazioni speciali dei vapori saturi: a pressione costante, a volume costante, adiabatiche - Diagramma entropico per i vapori saturi - Diagramma di Mollier per i vapori saturi.

Vapori surriscaldati e gas reali:

Equazione dello stato fisico dei vapori surriscaldati e dei gas reali - Entalpia - Entropia ed energia interna dei vapori surriscaldati e gas reali - Trasformazioni di vapori surriscaldati - Diagramma entropico e di Mollier - Equazione di Van der Waals - Legge degli stati corrispondenti.

Miscela di gas e vapore:

Generalità - Definizioni - Entalpia di miscela di aria e vapor d'acqua - Trasformazioni di miscele di aria e vapor d'acqua - Misura del grado igrometrico.

Elementi di termochimica:

Teoria elementare delle motrici termiche e delle macchine frigorifere:

Premesse - Calore di reazione - Potere calorifico inferiore e superiore - Compressori alternativi - Motore a scoppio, Joule e Diesel - Macchine a vapore - Macchine frigorifere tradizionali ad uno stadio di compressione o a più stadi e ad assorbimento.

2) Fluidodinamica

Principi generali:

Richiamo sui campi vettoriali - Generalità sul moto dei fluidi - Equazione di Navier - Equazione di continuità - Seconda forma dell'equazione energetica del moto dei fluidi.

Flusso dei fluidi gassosi sotto forti differenze di pressione:

Generalità - Studio della portata del tubo di efflusso e sua profilatura - Osservazioni - Influenza delle resistenze passive e della soprassaturazione.

Moto dei fluidi in condotti:

Perdite per attrito - Perdite di pressione per attrito in regime laminare - Velo-

cià critica - Numero di Reynolds - Perdite di pressione per attrito in regime idraulico - Teoria di Reynolds per tubi geometricamente simili e per tubi scabri. Risultati sperimentali - Perdite per resistenze accidentali - Moto dei fluidi per differenze di temperatura - Condotti nei quali sono inseriti ventilatori o pompe - Sezione equivalente - Casi pratici ed esempi - Misure relative al moto dei fluidi: misure di velocità - Tubi di Pitot Prandtl - Misure di portata con il metodo di integrazione, con il tubo di Venturi, con il diaframma - Misure di pressione e micromanometri - Ventilatori centrifughi - Ventilatori elicoidali.

3) *Trasmissione del calore e termotecnica:*

Trasmissione per conduttività:

Generalità e legge di Fourier - Equazione di Fourier - Alcuni casi semplici di trasmissione per conduttività pura - Resistenza termica - Sul problema generale della trasmissione non stazionaria: alcuni casi tecnicamente importanti e discussione dei risultati.

Trasmissione del calore per convezione forzata e naturale:

Generalità - Convezione forzata: applicazione dell'analisi dimensionale per la determinazione del coefficiente di convezione forzata - Risultati sperimentali - Modifiche dell'equazione di Navier - Applicazione dell'analisi dimensionale per la determinazione del coefficiente di convezione naturale - Risultati sperimentali per la convezione naturale - Discussione di alcune relazioni - Cenni sulla convezione con cambiamento di stato di aggregazione.

Trasmissione del calore per irradiazione:

Generalità e definizione di alcune grandezze: legge di Kirchoff - Corpo nero - Leggi dell'irradiazione del corpo nero: legge di Lambert, legge di Stefan-Boltzmann, legge di Wien, legge di Planck - Scambio di calore per irradiazione fra corpi neri: alcuni esempi particolarmente importanti - Trattazione generale del problema dello scambio per irradiazione termico fra corpi neri: legge di reciprocità dei coefficienti angolari. Corpi grigi - Alcune applicazioni tecnicamente importanti e discussione dei risultati ottenuti - Corpi colorati - Determinazione del coefficiente di assorbimento medio.

Trasmissione del calore fra ambienti separati da una parete:

Alcuni casi particolari e discussione dei risultati ottenuti.

Termotecnica:

Scambiatori di calore - Perdita di calore attraverso un condotto isolato - Valore massimo della perdita di calore attraverso l'isolamento di un condotto cilindrico a sezione costante.

Testi consigliati

- A. GIULIANINI, *Fondamenti di Fisica Tecnica: Termodin. Appl.*, vol. I, Patron, Bologna 1976.
 A. GIULIANINI, *Fondamenti di Fisica Tecnica: Termocinetica*, vol. II, Patron, Bologna 1976.
 A. GIULIANINI, A. COCCHI, *Elementi di Acustica Applicata*, Petroni, Bologna,

1973.

A. GIULIANINI, *Esercizi di Fisica Tecnica*, vol. I, Patron, Bologna, 1976.A. GIULIANINI, A. COCCHI, I. DI FEDERICO, *Esercizi di Fisica Tecnica*, vol. II, Patron, Bologna, 1975.**Esami orali**

Tesi di Laurea fundamentalmente indirizzate su problemi di ricerca interessante il condizionamento dell'aria e gli impianti di riscaldamento. 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. inc.

*Programma*1) *Fondamenti di Economia*a) *Nozioni di Microeconomia*

L'uomo consumatore domanda dei beni di consumo. L'uomo produttore: produzione, costo, leggi, combinazione, scelte imprenditoriali. Mercato, prezzo, valore. L'uomo prestatore dei mezzi di produzione: domanda e offerta dei mezzi di produzione, il prezzo d'uso dei beni naturali, del lavoro e del capitale - 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) *Matematica finanziaria*

Interessi semplici, interessi composti. Riporto di capitali nel tempo. Annualità. Ricerche dell'annualità. Valori medi. Riparti.

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.

Testi consigliati

ENZO DI COCCO, *Elementi di Economia Generale*, Vol. 1° Edagricole 1973.

ENZO DI COCCO, *La valutazione dei beni economici*, Calderini 1974 (*).

IGINO MICHELI, *Estimo*, Edagricole II^a Edizione 1975 (*).

CARLO FORTE, *Elementi di Estimo Urbano*, Etas Kompas (*).

(*) I testi contraddistinti da questo segno sono stati riassunti in dispensa.

Visite agli uffici del Catasto terreni e del N.C.F.U.

Tesi di Laurea

Stime analitiche e giudizi di convenienza in interventi nel settore edilizio con possibilità di collegamenti a diverse discipline applicate di ingegneria civile sezione edile. Analisi nel settore catastale urbano per finalità di utilizzazione civile dei dati estimali.

2007

GEOTECNICA (semestrale)

Docente: **Pier Vincenzo Righi** prof. straordinario (inc.)

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 estra-

dosso 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 rigidità nulla e a rigidità infinita - Metodi approssimati. 7) Formula di stabilità - Carico critico - Teoria di Frölich - Carico di rottura - Teorie di Rankine - Ritter - Prandtl - Caquot - Terzaghi. 8) Applicazioni pratiche delle teorie svolte.

Testi consigliati:

TERZAGHI, PECK, *Geotecnica*.

Tesi di Laurea

Argomenti di Geotecnica
 Coordinamento con Tecnica delle fondazioni.

490

IDRAULICA (per Civili e Minerari)

Docenti: **Giovanni Cocchi** prof. ord. (Civili A-K e Minerari)

Antonello Rubatta prof. ord. (civili L-Z)

Programma

Unità di misura, omogeneità, teorema π - 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 MACCHINEDocente: **Giorgio Negri di Montenegro** prof. straordinario. (inc.)

Lo studio delle macchine è impostato trattandole dal punto di vista dell'utilizzatore e non del progettista.

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.

Testo consigliato

S. FABBRI, *Appunti di Meccanica applicata alle Macchine e Macchine*, Ed. Patron.

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

812

PRINCIPI DI DIRITTO (semestrale)Docente: **Mauro Bernardini** prof. incaricato stab.*Programma*

Nozioni generali sull'ordinamento giuridico. Concetto di norma giuridica e di fonti del diritto. Cenni sul codice civile del 1942 e sulla Costituzione repubblicana del 1948. Diritto soggettivo e interesse legittimo. Cenni sui fondamenti costituzionali e amministrativi dello stato italiano odierno. Diritto delle persone. Enti morali, società, persone fisiche. Obbligazioni e contratti. Garanzie delle obbligazioni. I principali contratti (vendita, locazione, mandato, mutuo, appalto, fidejussione). Cenni di diritto industriale (azienda, ditta, insegna, marchio, diritto d'autore, brevetti per invenzioni industriali) e del lavoro. Proprietà. Diritti reali. Legislazione urbanistica (in particolare strumenti urbanistici previsti dalla L. urb. fondamentale, piani PEEP, cenni sulla legge "sulla casa").

Testi consigliati

CALLEGARI, *Elementi di diritto per l'Istituto Tecnico per Geometri*, Ed. SEI, Torino.

MARANINI, BASILE, *Principi generali del diritto e diritto pubblico*, Ed. Zanichelli Bologna.

Testi della Costituzione, del Codice civile, delle Leggi urbanistiche (i primi due, abbinati, disponibili in diverse edizioni; l'ultimo disponibile, fra l'altro, in edizione Pirola, Milano).

Esercitazioni ed esami

Data la vastità della materia si consiglia la frequenza alle lezioni e alle esercitazioni (che si svolgono in continuo con le lezioni).

All'esame viene richiesta la parte del corso, variabile di anno in anno, effettivamente svolta a lezione.

Tesi di Laurea

Sono assegnate tesi di legislazione urbanistica o attinenti a diritti reali concernenti l'edilizia (es. condominio), suscettibili di coordinamento con gli insegnamenti urbanistici. La ricerca bibliografica per la tesi può essere svolta utilmente presso l'Istituto giuridico della Facoltà di Giurisprudenza.

890

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (per Civile e Minerari)

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

Agostino Cannarozzi prof. inc. (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. A corso ultimato l'allievo dovrebbe essere in grado di impostare e valutare correttamente il grado di sicurezza, nel senso del calcolo elastico, di strutture semplici comunque vincolate e caricate e di iniziare con profitto i corsi successivi del settore strutturale.

Programma

a) *Analisi degli elementi fondamentali della meccanica applicata alle costruzioni:*

a,1) Definizione e studio dello stato di tensione nei mezzi continui.

a,2) Definizione e studio dello stato di deformazione nei mezzi continui.

a,3) Correlazioni derivanti dall'uso del principio dei lavori virtuali.

a,4) Ipotesi e limitazioni connesse al modello di comportamento elastico-lineare dei mezzi continui.

a,5) Criteri per la valutazione del coefficiente di sicurezza in campo elastico.

b) *Le verifiche di sicurezza col metodo elastico:*

- b,1) Lo studio del solido ideale schematizzante la trave.
- b,2) Le verifiche di sicurezza nei diversi casi di sollecitazione semplice.
- b,3) Le verifiche di sicurezza nei diversi casi di sollecitazione composta.

c) *I modelli strutturali:*

- c,1) Le travi.
- c,2) Le condizioni di vincolamento.
- c,3) Le azioni interne.
- c,4) La determinazione delle azioni interne nelle strutture isostatiche.
- c,5) La determinazione delle deformazioni nelle strutture isostatiche.
- c,6) La soluzione delle strutture iperstatiche.
- c,7) La sicurezza delle strutture nei riguardi dei fenomeni d'instabilità.

Testi consigliati

M. CAPURSO, *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, Pitagora, Bologna.

V. FRANCIOSI, *Scienza delle Costruzioni*, Vol. I, Liguori, Napoli.

O. BELLUZZI, *Scienza delle Costruzioni*, Vol. I, Zanichelli, Bologna.

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 COSTRUZIONIDocenti: **Piero Pozzati** prof. ord. (Civili A-K)**Roberto Alessi** prof. straord. (Civili L-Z)*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.

Testi consigliati

Sono messe a disposizione degli studenti dispense sintetiche preparate dai docenti dell'Istituto e acquistabili, presso una copisteria, al solo prezzo della riproduzione fotostatica. Per approfondire gli argomenti oggetto del corso:

- R. BALDACCIO, *Scienza delle costruzioni*, vol. II (Fondamenti...), UTET, 1976.
- 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).
- C. CESTELLI GUIDI, *Meccanica del terreno - Fondazioni*, ed. Hoepli, Milano, 1975; *Cemento armato precompresso*, ed. Hoepli, Milano, 1964; in collaborazione con: R. CALZONA, *Il calcolo del cemento armato*, ed. Hoepli, Milano, 1975.
- L. DONATO, *Costruzioni*, Corsi, Pisa, 1954.
- V. FRANCIOSI, *Scienza delle costruzioni*, ed. Liguori, Napoli, 1971; vol. I (Generalità sulle strutture); vol. III (Sistemi di travi).
- 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.
- M. PAGANO, *Strutture*, ed. Liguori, Napoli, 1963 e seguenti.
- P. POZZATI, *Teoria e tecnica delle strutture*, ed. UTET, Torino; vol. I (Fondamenti, marzo 1972); vol. II parte 1^a (Sistemi di travi: l'interpretazione elastica, febbraio 1977); vol. II parte 2^a, in collaborazione con C. CECCOLI (Sistemi di travi: applicazioni pratiche, febbraio 1977).
- E.F. RADOONA, *Tecnica delle costruzioni*, ed. Scient. Assoc., Roma, 1975.
- V. ZIGNOLI, *Costruzioni edili (metalliche)*, ed. UTET, Torino, 1974.

E' richiesta la frequenza alle esercitazioni, nel corso delle quali vengono rivisitati i progetti, la cui approvazione è necessaria per l'ammissione all'esame orale.

Tesi di Laurea:

Progetti di strutture - Coordinamento con tutti gli Istituti interessati a problemi strutturali.

2008

TECNICA DELLE FONDAZIONI (semestrale)

Docente: **Claudio Ceccoli** 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.

1061

TOPOGRAFIA

Docente: **Giorgio Folloni** prof. straord.

Programma

La posizione generale del problema del rilievo: - Richiami analitici e definizione della superficie di riferimento - Il geode e l'ellissoide terrestre - La geometria dell'ellissoide di rotazione - I fondamenti teorici della geodesia operativa - Determinazione delle coordinate curvilinee dei punti sulla superficie di riferimento - La rappresentazione dell'ellissoide sul piano: le rappresentazioni cartografiche - Teoria della compensazione delle misure - Elementi di statistica e di calcolo delle probabilità - La compensazione delle osservazioni dirette, indirette e condizionate - Strumenti e operazioni di misura: misura di angoli azimutali e zenitali - Misura diretta e indiretta delle distanze - Misura di distanze con onde modulate - Misure dirette e indirette delle differenze di quota: livelli - Operazioni per il rilievo topografico: triangolazioni e trilaterazioni, metodi di intersezione, poligonali, rilievo dei dettagli - Metodi operativi, di calcolo e di compensazione delle diverse fasi di rilievo topografico - Determinazione delle differenze di quota: livellazioni trigonometriche e geometriche - Le operazioni topografiche per il progetto, il tracciamento e il controllo di opere di ingegneria civile - 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

Docente: **Augusto Zanotti** prof. inc. stab.

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.

50

ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA

Docente: **Leonardo Lugli** prof. straord.

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. Processi per individuazione di sub-sistemi: metodi A.I.D.A. e C.A.S.A.
- d. Uso del computer come strumento di progettazione.

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 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).

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 essenziali 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).

2009

COMPLEMENTI DI TECNICA URBANISTICADocente: **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 terri-

torio. 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, esempî 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).

522

IMPIANTI TECNICI CIVILI

Docente: **Eros Tartarini** prof. inc.

Programma

Il corso si svolge sugli impianti idrico-sanitari, di riscaldamento e condizionamento indispensabili al comfort negli edifici ad uso civile abitazione ed industriali. Tratta inoltre dell'illuminotecnica degli interni, della parte acustica o, meglio, degli isolamenti acustici e termici da rumori molesti tra vano e vano e tra l'esterno e i vari interni. Tratta ancora sommariamente degli impianti di sollevamento nelle industrie e ascensori.

Testi consigliati

A. IZAR, *Termotecnica.*

STRADELLI, *Condizionamento dell'aria.*

RIETSCHER, RAISS, *Traité de chauffage et de ventilation.*

C. PIZZETTI, *Condizionamento dell'aria e refrigerazione.*

GIULIANINI, COCCHI, *Elementi di acustica tecnica.*

Propedeuticità consigliate:

Fisica Tecnica, Meccanica Applicata alle Macchine e Macchine, Idraulica.

Tesi di Laurea

Coordinamento con gli Istituti di: Architettura e Urbanistica, Costruzioni di Strade, Ferrovie e Aeroporti, Idraulica.

1034

TECNICA URBANISTICADocenti: **Carlo Monti** prof. inc. (Civili A-K)**Giovanni Crocioni** prof. inc. (Civili L-Z)

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 ad 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).

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

Programmi delle materie di insegnamento

4125

CONSOLIDAMENTO DEI TERRENIDocente: **Alberto Bucchi** prof. inc. stab.*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*.

1382

CONTROLLI AUTOMATICIDocente: **Gloria Capitani Catelli** prof. inc.*Programma*

Nozioni fondamentali della struttura di un calcolatore numerico elettronico - Elementi di programmazione in linguaggio Fortran - Metodi numerici di soluzione di problemi elementari: operazioni su matrici, calcolo di integrali definiti, calcolo di sistemi di equazioni algebriche lineari, metodi di interpolazione.

Modelli matematici di sistemi: classificazione e caratteristiche generali - Impiego di modelli matematici in problemi di controllo - Sistemi di controllo: controllo in catena aperta e controllo in catena chiusa, stabilità di un sistema controllato.

Problemi di controllo ottimo, di pianificazione, di allocazione di risorse. Metodi di ottimizzazione: metodi analitici e numerici di soluzione di problemi di ottimizzazione statica e dinamica e loro impiego in problemi di controllo ottimo.

Testi consigliati

V. FALZONE, E. COSTANTINI, *Elaboratori elettronici e tecnica della programmazione in Fortran e Algol*, ed. Hoepli.

Dispense del docente.

L'esame consiste di una prova orale.

Le esercitazioni si svolgono essenzialmente in aula; sono previste alcune esercitazioni al calcolatore.

2015

CONTROLLI IDRAULICI E PNEUMATICI

Docente: **Antonello Rubatta** prof. ord. (inc.)

Programma

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

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. straord. (inc.)

Programma

Richiami sui moti ondosi: onde lineari; onde di Stokes; teoria di Gerstner; onda solitaria. Le condizioni di frangimento. Valutazione delle altezze d'onda prevedibili in un pareggio. Formule empiriche e semiempiriche. Il metodo dell'onda significativa: il metodo dello spettro dell'energia, criteri di scelta dell'altezza d'onda per la progettazione di strutture. Azioni esercitate dalle onde sulle strutture e sui pali. La acqua marina e i suoi effetti sui materiali. Caratteristiche dei natanti e principali problemi della navigazione. Segnalazioni radioelettriche; fari. Le coste: tipi e azioni del mare.

Il trasporto di materiali da parte del mare: corrosioni e ripascimenti, possibilità di valutazione del trasporto solido lungo le rive. Opere di difesa delle coste. I porti: tipi, dimensioni e principali strutture. Le dighe e i moli di protezione: tipi e dimensionamento; problemi statici, economici e costruttivi. Le opere interne dei porti: banchine e darsene e loro attrezzature; i terminali specializzati. Calcolo dei muri di sponda e delle briccole. Raccordi con l'entroterra. Strutture speciali nei porti: le chiuse per docks e i bacini da carenaggio; tipi ed elementi di calcolo. Esempi recenti di grandi realizzazioni. Idrovie e corsi d'acqua navigabili. Caratteristiche dei manufatti in relazione alle dimensioni dei natanti; conche di navigazione, elevatori, passi a raso e problemi idraulici e statici connessi. Canalizzazione dei corsi d'acqua. Leggi di Fargite e loro applicazione. I mezzi di intervento per correggere l'andamento planimetrico del corso d'acqua; difese redenti e difese trasversali; pennelli. Il controllo e la correzione del profilo altimetrico di un corso d'acqua mediante briglie e soglie. Il problema della difesa delle piene: interventi intensivi ed estensivi; serbatoi di controllo delle portate; possibilità offerte dai moderni mezzi di rilevazione ed elaborazione automatica dei dati idrologici, nel quadro della difesa contro gli eventi alluvionali.

Tesi di Laurea

- Opere di convogliamento sottomarine
- Piattaforme e strutture di accosto
- Azione di moti ondosi sulle strutture - Risonanza
- Inquinamenti e scarichi a mare
- Reperimento e captazione di acque dolci sottomarine

Materie indispensabili per lo svolgimento delle tesi

- Gruppo idraulico
- Scienza delle Costruzioni
- Tecnica delle Costruzioni
- Geotecnica
- Tecnica delle fondazioni

4131

DIFESA E CONSERVAZIONE DEL SUOLODocente: **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.

SCIINAB 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.

496

IDROLOGIA E IDROGRAFIA

Docente: **Pietro Guerrini** prof. straord.

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 icogrammi 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.

518

IMPIANTI SPECIALI IDRAULICIDocente: **Filippo Zoccoli** prof. straord.*Programma*

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

2) Fognature urbane; scopi e sistemi di canalizzazione. Progetto delle reti: metodi per il calcolo delle portate nere e delle massime portate pluviali; organizzazione delle reti; tipi di condotti per fognature nere e miste: elementi per il dimensionamento idraulico e statico. Manufatti correnti nelle reti: pozzetti e confluenze; opere speciali: salti di fondo, sfioratori, pozzetti di lavaggio e loro dimensionamento idraulico; impianti di sollevamento per acque di fogna e relativi problemi di installazione e di esercizio. I trattamenti depurativi; caratteristiche dei liquami domestici e industriali; necessità della depurazione in relazione al recapito in 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 pozzi speciali; blocchi d'ancoraggio, valvole, diramazioni, passi d'uomo. Centrali idroelettriche: tipi e classificazioni; caratteristiche funzionali delle macchine idrauliche; scel-

ta 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

Impianti speciali idraulici.

SUPINO, *Reti Idrauliche*.

ONGARO, *Reti di Bonifica*.

IPPOLITO, *Appunti di Costruzioni idrauliche*.

EVANGELISTI, *Impianti Idroelettrici*.

CLASS NOTES, *Costruzioni marittime e fluviali: Appunti manoscritti*.

Tesi di Laurea

- Reti di bonifica
- Reti di fognatura
- Impianti idroelettrici di rivalutazione
- 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 concessi con le voci di cui sopra.

Materie indispensabili per lo svolgimento delle tesi

- Gruppo idraulico
- Scienza delle Costruzioni
- Tecnica delle Costruzioni
- Geotecnica
- Tecnica delle fondazioni.

690

MECCANICA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI

Docente: **Bruno Poggi** prof. ord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria)

2013

MISURE E MODELLI IDRAULICI

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

Nozioni generali sulle misure e definizioni delle principali unità di misura.

Misure di livello, di volume, di temperatura, di tempo, di densità, di pressione, di viscosità, di velocità e di portata.

Tecniche particolari per misure in moto vario.

Misure sistematiche e loro organizzazioni e interpretazione.

Telemisure.

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 di filtrazione.

1019

TECNICA DEI SONDAGGI

Docente: **Giovanni Brighenti** prof. straord.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria)

1031

TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI

Docente: **Alessandro Orlandi** prof. straord.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile - Trasporti)

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

Programmi delle materie di insegnamento.

2009

COMPLEMENTI DI TECNICA URBANISTICA

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

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile - Edile)

2011

TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE

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

*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.

Testi consigliati

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

A. ORLANDI, *Elementi di teoria delle file d'attesa con applicazione ai trasporti*, Ed. Patron, Bologna.

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.

1031

TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI

Docente: **Alessandro Orlandi** prof. straordinario.

*Programma**Il problema generale dei trasporti*

Analisi della richiesta di movimenti e dell'ambiente in cui e per cui si sviluppano. Studio dei dispositivi atti a rendere possibili e convenienti tali movimenti.

Approccio allo studio dei trasporti in un concetto di sistema

Ricerca di un metodo per valutare la necessità e l'offerta di trasporto; richiami di concetti della teoria dei sistemi utili nello studio del trasporto.

Criteri di descrizione di un sistema di trasporti.

Formazione di modelli di sistemi di trasporti.

Caratterizzazione tecnico-economica dei sistemi di trasporti

Sistemi semplici, complessi; omogenei, eterogenei, integrati, equilibrati; condizioni di continuità lungo la linea e di equilibrio nei nodi.

Prestazioni tecniche, funzionalità, potenzialità di una linea o sistema semplice.

Costo del trasporto; benefici.

Meccanica della locomozione

Forze agenti, condizioni di vincolo e di equilibrio di un veicolo: equazione generale del moto.

Testi consigliati:

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

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

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.

1034

TECNICA URBANISTICA

Docenti: **Carlo Monti** prof. inc. (Civili A-K)
Giovanni Crocioni prof. inc. (Civili L-Z)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile - Edile)

2017

TEORIA E TECNICA DELLA 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. Alberto. 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".

2016

TRAZIONE E PROPULSIONE

Docente: **Paolino Camposano** prof. inc. stab.

Programma

- 1) Introduzione generale. I sistemi. Parametri caratteristici. La funzione trasporto.
- 2) Trazione sull'aderenza: utilizzazione e regolazione della potenza massica. Ca-

ratteristica meccanica. Problema della trasmissione meccanica, idraulica, elettrica con motori a c.i. di tipo alternativi o turbo.

3) La trazione elettrica nei vari sistemi in c.c. e c.a. Regolazione di potenza/velocità dei vari equipaggiamenti di trazione. La conversione statica a bordo con l'impiego dei tiristori e le sue possibilità attuali e future.

4) Propulsione navale. Analisi delle resistenze di carena. Propulsore convenzionale, teoria e curve caratteristiche. Propulsori cicloidali.

5) Propulsione aerea. Natura e generazione delle forze aerodinamiche e loro espressione. Volo subsonico e supersonico. Dinamica del volo. Autonomia in ore ed in distanza. Richiami di termodinamica. Processi stazionari. Temperatura a pressione di ristagno. Ciclo termodinamico di un turbogetto. Rendimenti nei processi propulsi- vi. Turboreattori, Turbofan, Statoreattori, endoreattori. Impulso specifico e rapporto di massa nei vettori.

6) Veicoli di superficie non convenzionali. Sostentamento a cuscinio d'aria. Sostentamento magnetico (elettromagnetico ed elettrodinamico). Propulsione dei veicoli di superficie non convenzionali.

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

2

AERODINAMICADocente: **Giovanni Cocchi** prof. ord. (inc.)

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: **Fabio Manaresi** prof. inc. stab.

1354

ANALISI MATEMATICA II (per Meccanici e Minerari)Docente: **Emilio Obrecht** prof. inc.

Gli insegnamenti di analisi matematica I e II, insieme con gli altri insegnamenti di carattere matematico, hanno lo scopo di fornire le nozioni e gli algoritmi

mi che verranno impiegati negli insegnamenti applicativi e di sviluppare nello studente l'attitudine al ragionamento.

Argomenti fondamentali dei due insegnamenti sono:

Elementi di teoria degli insiemi e dei numeri reali. Numeri complessi. Cenno sugli spazi vettoriali, metrici e topologici. Teoria dei limiti per le funzioni numeriche. Calcolo differenziale per le funzioni numeriche e applicazioni allo studio dei diagrammi. Serie numeriche e serie di funzioni. Calcolo integrale per le funzioni e applicazioni geometriche (lunghezze, aree, volumi, baricentri). Integrali curvilinei e superficiali. Formule di Gauss e di Stokes. Forme di differenziali lineari. Equazioni differenziali. Elementi di teoria delle funzioni complesse di variabile complessa.

4117

ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI

Docente: **Alessandro Freddi** prof. straord.

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.

83

CALCOLO ELETTRONICO

Docente: **Paolo Tiberio** prof. straord.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica).

1383

CALCOLO ELETTRONICO (per Nucleari)Docente: **Armando Chiarini** prof. inc. stab.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare)

1358

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

Il programma del corso introduce allo studio della struttura atomica e molecolare della materia ed alle applicazioni della termodinamica a problemi chimici. Una particolare attenzione è rivolta inoltre allo studio delle proprietà chimiche e chimico-fisiche dei materiali solidi (metalli e loro leghe, semiconduttori ecc.), soprattutto attraverso l'analisi, in forma elementare delle principali correlazioni fra la struttura dei solidi e le loro proprietà macroscopiche, di utilità applicativo-tecnologiche.

Il programma è essenzialmente articolato in tre parti:

- la prima parte riguarda lo studio della struttura microscopica della materia: struttura nucleare, struttura elettronica degli atomi e sistema periodico, struttura delle molecole e legame chimico;
- la seconda parte tratta dello studio delle proprietà macroscopiche della materia nei tre stati di aggregazione, con particolare riguardo allo studio dello stato solido;
- la terza parte affronta lo studio delle reazioni chimiche e dell'equilibrio chimico. Vengono preliminarmente proposti i principi della termodinamica chimica, che sono successivamente applicati allo studio dell'equilibrio chimico. Vengono pure trattati argomenti di Cinetica chimica, di Elettrochimica e viene affrontato lo studio dei Diagrammi di stato.

Il corso può essere affrontato con le nozioni di matematica, chimica e fisica acquisite nella scuola media superiore.

92

CHIMICA APPLICATA (per Meccanici e Minerari)Docente: **Vasco Passalacqua** prof. inc. stab.

Il corso di Chimica applicata ha lo scopo di formare nell'allievo la capacità di applicare le cognizioni scientifiche del corso di Chimica, ai problemi tecnici

particolari che l'ingegnere meccanico può incontrare nello svolgimento della sua futura professione. Questa formazione viene realizzata, tenuto conto anche dei corsi specialistici a valle, attraverso lo studio dei materiali, correlandone le caratteristiche chimiche e chimico-fisiche con le proprietà meccaniche, termiche e condizioni di lavoro, esaminando inoltre le possibilità di intervenire sulle loro strutture per renderli più confacenti all'impiego.

In questo contesto vengono presi in esame i seguenti argomenti: acque, combustibili e lubrificanti in relazione al loro impiego negli impianti termici e nei motori termici; materiali da costruzione come leghe ferro-carbonio, materie plastiche, gomme, refrattari e leganti.

L'insegnamento di Chimica è strettamente propedeutico a questo corso.

2022

COMPLEMENTI DI COSTRUZIONE DI MACCHINE

Docente: **Gustavo Favretti** prof. ord. (inc.)

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

Il corso è impostato in maniera piuttosto teorica, con l'attenzione però di limitare al minimo indispensabile l'algoritmo matematico a vantaggio dell'impostazione fisica e della discussione critica sia dei metodi di soluzione, sia dei risultati ottenuti, confrontando, qualora sia possibile, questi ultimi anche con quelli ottenuti mediante soluzioni di carattere elementare.

Il corso è articolato in tre parti: una prima parte in cui vengono trattati con i metodi della teoria classica dell'elasticità, problemi di particolare interesse per l'ingegnere meccanico (travi tozze, travi curve, tensioni locali provocate da carichi concentrati, tensioni termiche su corpi di varia forma); una seconda parte in cui vengono trattati alcuni problemi relativi alle piastre inflesse ed ai gusci in regime membranale e flessionale; una terza parte nella quale vengono trattati problemi relativi alle vibrazioni dei corpi continui (oscillazioni longitudinali, torsionali, flessionali libere e forzate, di travi prismatiche).

Materia propedeutica è Scienza delle Costruzioni.

2018

COMPLEMENTI DI MACCHINE

Docenti: **Claudio Bonacini** prof. ord. (Meccanici A-K)
Giorgio Minelli prof. straord. (Meccanici L-Z)

Nel corso vengono trattati fondamentalmente tra argomenti: le turbomacchine idrauliche motrici ed operatrici (turbine idrauliche e pompe centrifughe), le turbine a gas (per propulsione e per impianti termoelettrici) ed i motori a combustione interna.

Di queste macchine vengono illustrati i principi e le caratteristiche di funzionamento nonché i metodi elementari di progettazione termofluidodinamica.

Per seguire il corso con profitto, l'allievo deve essere in possesso delle nozioni fondamentali dell'Idraulica e della Fisica tecnica. E' inoltre consigliabile che abbia già seguito il corso di Macchine.

201

COSTRUZIONE DI MACCHINE

Docenti: **Fausto Caboni** prof. straord. (Meccanici A-K)
Gustavo Favretti prof. ord. (Meccanici L-Z)

L'insegnamento ha per scopo l'effettuazione del progetto degli organi delle macchine; premesse alcune nozioni di meccanica dei continui, si sviluppano i metodi di calcolo che permettono, partendo dalle cognizioni della Scienza delle costruzioni e della Meccanica applicata alle macchine, 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.

Il programma del corso comprende: una prima parte con richiami di teoria della elasticità, condizioni di resistenza, resistenza a fatica, effetto di intaglio, plasticità, scorrimento viscoso a caldo; ed una seconda parte dedicata allo studio del dimensionamento di organi delle macchine (organi di collegamento, assi ed alberi, perni e cuscinetti, ruote dentate, organi dei manovellismi, tubi e recipienti, piastre circolari, dischi rotanti, molle, solidi ed elevata curvatura). Corsi propedeutici sono Meccanica applicata alle macchine e Scienza delle costruzioni.

199

COSTRUZIONI AERONAUTICHEDocente: **Salvatore Scalas** prof. inc. stab.

Il corso ha lo scopo 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, dal punto di vista pratico, dei problemi del volo una visione delle possibilità e delle limitazioni del mezzo aereo.

Il corso è diviso in quattro parti:

una parte di Aerodinamica applicata al volo; una parte strutturale, che prende in considerazione le principali parti del velivolo (cellula, fusoliera, carrello) nei vari tipi e nelle loro componenti ed i materiali impiegati per la loro costruzione; una parte di dinamica del volo; una parte riguardante l'impostazione di progetto e di prove delle principali strutture.

1363

DISEGNO (per Meccanici e Minerari)Docenti: **Sandro Sandrolini** prof. inc. (Meccanici A-K e Minerari)**Giuseppe Cantore** prof. inc. (Meccanici L-Z)

Il corso è articolato in due parti. La prima, a carattere propedeutico, è volta a dare i fondamenti geometrici che costituiscono la base concettuale per l'esecuzione e l'interpretazione di qualsivoglia disegno. Essi comprendono: costruzioni geometriche fondamentali; cenni di geometria descrittiva, con particolare rilievo per il metodo delle proiezioni ortogonali ed assonometriche; applicazione dei concetti di vera forma di superficie piane e di sviluppabilità della superficie; metodi relativi alle intersezioni e sezioni piane.

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

3781

DISEGNO II (per Meccanici e Minerari)Docenti: **Giordano Conti** prof. inc. stab. (Meccanici A-K e Minerari)**Pier Gabriele Molari** prof. inc. stab. (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.

251

ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALEDocente: **Vitaliano Silingardi** prof. inc. stab.

Il corso ha lo scopo di fornire una conoscenza abbastanza approfondita sia dei principi informatori dell'organizzazione aziendale, sia di alcune tecniche necessarie per attuare questi principi.

Il corso inizia con lo studio dell'azienda vista come sistema: vengono esaminati poi analiticamente gli elementi costituenti questo sistema; cioè, il fattore umano, capitale, materie prime ed energia.

Il corso prosegue con lo studio di un organigramma aziendale tipo. Nell'ambito di questo vengono poi esaminati alcuni settori e problemi di particolare interesse:

terreno industriale, stabili, impianti, scelta degli investimenti, aspetti organizzativi ed economici della manutenzione, i trasporti interni, in particolare l'attenzione viene posta allo studio del flusso di informazione, si passa poi ai cicli e metodi di lavorazione, studio dei tempi elementi fondamentali del controllo statistico del-

la qualità. Segue, poi, la fase produzione con particolare riguardo alla programmazione e alle varie tecniche ad esse relative (diagramma di GANTT, tecniche reticolari della programmazione, programmazione automatica).

Viene poi approfondita la gestione degli stocks e la determinazione dei lotti economici, si fa un breve cenno ai problemi economici e organizzativi che sorgono nell'ambito della progettazione e dello studio del prodotto, in particolare si approfondiscono le tecniche del "Value Analysis".

Ampio spazio viene riservato alla teoria dei costi, costi diretti e indiretti, criteri di suddivisione di questi ultimi, Break Even Point, costi marginali, si accenna alla fase commerciale, problemi generali riguardanti metodi di ricerca del mercato ed in particolare la ricerca motivazionale, il corso termina con alcuni argomenti di ricerca operativa.

275

ELETTROTECNICA

Docente: **Raffaello Sacchetti** 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 suesposti, 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.

"Vengono infine fornite le principali nozioni sulla costituzione degli impianti elettrici, con particolare riferimento alle reti di distribuzione e alle apparecchiature".

1367

FISICA I (per Meccanici e Minerari)Docente: **Antonio Vitale** prof. inc. stab.

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".

I principali argomenti trattati sono i seguenti: misure di lunghezza e di tempo; rappresentazione di moti; fondamenti della dinamica; lavoro, energia, impulso; moti rotatori di corpi rigidi; sistemi di riferimento accelerati; definizione e misura della temperatura; definizione di calore; primo principio della termodinamica e equazione di stato dei gas perfetti; gas reali e vapori; secondo principio della termodinamica; entropia; generalità sulla conduzione e sulla propagazione del calore; cicli termodinamici.

1371

FISICA II (Meccanici e Minerari)Docente: **Pietro Bassi** prof. ord.

Il corso ha inizio con lo studio dei fenomeni connessi con le interazioni elettromagnetiche statiche e dipendenti dal tempo. Queste, con quella gravitazionale, sono le interazioni che danno ragione della maggior parte dei fenomeni macroscopici che osserviamo. In particolare si concentra l'attenzione sulle onde elettromagnetiche come naturale estensione delle equazioni di Maxwell.

Viene poi introdotta la descrizione della propagazione di onde di vario tipo (per esempio ottiche, acustiche) sia dal punto di vista fisico che matematico.

Segue una trattazione abbastanza dettagliata dell'ottica, sia geometrica che ondulatoria: questa ultima utilizzata anche per approfondire lo studio delle onde (polarizzazione, interferenza, diffrazione).

Il corso può essere seguito da chi possieda le conoscenze matematiche di Analisi I.

430

FISICA TECNICADocente: **Alessandro Cocchi** prof. ord.

Il corso vuole costituire l'elemento di collegamento fra gli insegnamenti di Fisica e di Meccanica razionale del biennio propedeutico e gli insegnamenti appli-

cativi di Macchine e di Impianti meccanici. Vengono, in particolare, sviluppati argomenti di termofisica e di acustica tecnica.

La termofisica è la scienza che tratta degli scambi di energia termica e delle loro relazioni con le proprietà fisiche delle sostanze. In essa possono distinguersi due fasi di studio: la termodinamica e la termocinetica. La prima, basandosi sulla utilizzazione di alcuni principi fondamentali assunti come postulati derivati dall'esperienza e mai contraddetti dalla stessa, costruisce con il rigore della logica un corpo di regole che consentono di indirizzare lo studioso ed il tecnico verso la migliore utilizzazione delle risorse energetiche disponibili; la seconda, per mezzo dell'analisi dettagliata dei meccanismi cinetici, consente di realizzare nella misura desiderata gli scambi di energia termica e quindi di porre in atto quanto insegnato dalla prima.

La trattazione di nozioni elementari di acustica tecnica ha lo scopo di informare lo studente in merito al significato che assumono i risultati ottenibili con determinate tecniche di misura in previsione di quanto potrà e dovrà fare per ridurre i danni prodotti dal rumore e dalle vibrazioni sugli uomini e sulle macchine.

1375

GEOMETRIA (per Meccanici e Minerari)

Docente: **Loris Molinari** prof. inc.

Gli scopi del corso sono fondamentalmente i seguenti: presentare agli studenti una disciplina rigorosamente sistemata, in modo che essi ne acquisiscano gli strumenti fondamentali per le future applicazioni, nella convinzione che la visione algebrica e geometrica di molti problemi tecnici ne possa semplificare la soluzione; presentare tutta la materia trattata, eccezion fatta per l'algebra lineare; per via assiomatica ed illustrando ogni concetto fondamentale con gli esempi più significativi.

Gli argomenti trattati sono i seguenti: elementi di algebra lineare; geometria analitica affine ed euclidea del piano e dello spazio; con particolare riguardo alla teoria delle curve e delle superficie ed a quella della polarità; elementi fondamentali di geometria differenziale delle curve e delle superficie.

490

IDRAULICADocente: **Giambattista Scarpi** prof. straord.

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.

515

IMPIANTI MECCANICIDocenti: **Oddo Pierfederici** prof. inc. stab. (Meccanici A-K)**Sergio Fabbri** prof. ord. (Meccanici L-Z)

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 incenerimento. Per quanto riguarda la produzione di energia si esaminano in particolare gli impianti a gas, quelli a vapore a condensazione e a ricupero (per la produzione combinata di energia elettrica e termica in dipendenza di vari processi industriali), ed i gruppi con motori a combustione interna, facendo nel contempo un cen-

no 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.

4022

MACCHINE

Docente: **Gino Morandi** 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: **Alberto Maggiore** 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.

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 anche 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.

687

MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE

Docenti: **Ettore Funaioli** prof. ord. (Meccanici A-K)

Umberto Meneghetti prof. straord. (Meccanici L-Z)

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.

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

1379

MECCANICA RAZIONALE (per Meccanici e Minerari)Docente: **Carlo Ballardini** 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.

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, Geometria, Fisica I.

2019

MISURE MECCANICHEDocente: **Giorgio Minelli** prof. straord. (inc.)

Il corso ha per scopo lo studio — sia dal punto di vista teorico, che applicativo — dei metodi di misura e degli strumenti necessari per le misurazioni delle grandezze di maggior interesse per l'ingegneria meccanica, come ad esempio: temperature, pressioni, portate, spostamenti, velocità, forze, potenze, vibrazioni, contenuto dei prodotti di combustione.

Il corso prevede anche lo studio, dal punto di vista applicativo, dei possibili errori di misurazione, nell'intento di fornire criticamente i metodi per la corretta elaborazione dei rilievi sperimentali e per l'individuazione dei relativi livelli di attendibilità.

Al termine del corso si prospettano problemi che nascono per il collaudo di una macchina o di un impianto: operazioni che richiedono l'effettuazione e l'elaborazione di diverse misure, fra loro coordinate.

Per un proficuo apprendimento della materia si ritengono propedeutici i corsi di Fisica tecnica e Idraulica.

2020

ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONEDocente: **Franco Giacomazzi** prof. inc. stab.

La definizione di un sistema produttivo può essere così espressa: un sistema produttivo è un'organizzazione di uomini, macchine e materiali destinato a produrre merci e servizi nel contesto di un sistema economico.

Il concetto di sistema produttivo è stato usato in questi ultimi anni in una accezione sempre più ampia, tenendo ad includere anche sistemi ed attività di tipo non strettamente manifatturiero.

La pianificazione della produzione, intesa nell'accezione più ampia sopra indicata, comporta un processo decisionario correlato a futuri corsi di azione partendo dalla situazione attuale e tenendo conto di vincoli attuali e futuri sulla funzione produttiva.

Alcune aree tipiche del processo decisionario che hanno connessione diretta con la funzione produttiva sono le seguenti: determinazione della capacità produttiva; ubicazione degli impianti; disposizione planimetrica dei macchinari; pianificazione aggregata della produzione e sua disaggregazione per prodotto e per funzione; programmazione a breve termine della produzione in officina; gestione degli stocks, la politica di manutenzione; controllo e gestione della qualità; miglioramento dei metodi di lavorazione e ristrutturazione del lavoro; misura dei tempi di lavorazione.

L'obiettivo del corso è di dare conoscenze e fare acquisire la capacità decisoria sulla maggior parte delle aree sopra indicate.

818

PROGETTI DI MACCHINEDocente: **Giorgio Bartolozzi** prof. ord.

Il corso si propone di offrire agli studenti gli elementi di base per l'impostazione, lo sviluppo e la gestione del progetto industriale costruttivo delle macchine, considerandone gli aspetti funzionale, di resistenza meccanica, produttivo ed economico, tipici di qualsiasi azienda industriale manifatturiera.

Gli argomenti trattati sono i seguenti: Contenuto del progetto industriale costruttivo delle macchine. Progetto del prototipo e sua industrializzazione. Complessivi di montaggio: particolari costruttivi. Brevetti. Progetto esecutivo definitivo e modifiche. Applicazione dei criteri generali di progettazione costruttiva a componenti meccanici: gruppi di trasmissione di moto e potenza impieganti ruote dentate; contenitori e recipienti in pressione; rotori soggetti a vibrazioni flessionali e torsionali.

Si richiedono le propedeuticità di Meccanica applicata alle macchine, Scienza delle Costruzioni, Tecnologia meccanica, Costruzione di macchine.

886

SCIENZA DEI METALLI

Docente: Giampaolo Cammarota prof. inc. stab.

Nel corso sono trattati i principi fondamentali della Metallurgia fisica, in base ai quali si interpretano i processi metallurgici più importanti tecnologicamente ed il comportamento di metalli e leghe metalliche in esercizio.

In particolare sono chiariti, alla luce delle moderne teorie sullo stato difettivo dei metalli, i concetti di: deformazione plastica; incrudimento; snervamento; rinvenimento; ricottura; scorrimento viscoso; tenacità e fragilità dei metalli.

Per la caratterizzazione dei materiali metallici sotto il profilo corrosionistico sono trattati: i principi generali dei processi di corrosione secca e a umido; gli aspetti morfologici della corrosione ed i provvedimenti contro la corrosione da prendere in fase di progettazione e di scelta dei materiali.

Si richiede la propedeuticità di Tecnologia Meccanica.

890

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

Docente: Pietro Matildi prof. straord.

Il corso ha lo scopo di porre le premesse della progettazione strutturale per qualsiasi tipo di sistema resistente che possa interessare l'ingegnere meccanico. Tali premesse vengono poste con carattere del tutto generale e sono quindi utilizzabili in altri corsi che puntino allo studio di sistemi bi e tri - dimensionali. Per esigenze di programma, tuttavia, esse vengono portate a conclusioni di carattere applicativo esclusivamente per sistemi monodimensionali (travi e sistemi di travi), con riferimento ai quali viene particolarmente esaminato sia l'aspetto deformativo sia quello tensionale indotto da forze o da distorsioni (variazioni termiche, cedimenti di vincolo, difetti di montaggio ecc.).

Viene altresì preso in attento esame il problema della sicurezza e della stabilità; argomento quest'ultimo, che viene affrontato anche per casi non piani, per il notevole interesse che il fenomeno ha per l'ingegnere meccanico.

Gli argomenti trattati sono i seguenti: Operazioni sulle forze e statica dei sistemi rigidi vincolati. Analisi della deformazione dei corpi continui. Analisi dello stato di tensione. Lavoro di deformazione. Il problema di De Saint Venant. La sicurezza, con cenni sulle normative vigenti. Le travi. Le strutture intelaiate. Lo studio delle strutture col principio dei lavori virtuali. Stabilità dell'equilibrio. La statica del cemento armato.

901

SERVOCOMANDI E REGOLAZIONEDocente: **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.

4146

STRUMENTAZIONE INDUSTRIALEDocente: **Paolo Grossi** prof. inc. stab.

Il corso si propone di fornire la conoscenza ed i criteri di corretto impiego di strumenti, metodi ed apparecchiature di misura applicati ai processi industriali.

Si studiano dapprima criteri generali per l'impiego di singoli strumenti e per la corretta realizzazione di catene di misura.

Si analizza quindi la strumentazione più in uso nell'industria per la trasmissione a distanza e la registrazione delle misure e si discutono i problemi della centralizzazione dei dati.

Vengono inoltre introdotti metodi ed apparecchiature di misura industriali di diverse grandezze fisiche a completamento ed approfondimento delle nozioni acquisite nel corso di Misure Meccaniche.

Per seguire con profitto il corso sono indispensabili le nozioni fondamentali di Fisica, Fisica tecnica, Elettrotecnica, Misure Meccaniche.

2011

TECNICA DELLA CIRCOLAZIONEDocente: **Alessandro Orlandi** prof. straordinario (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Sez. Trasporti)

Viene preso in considerazione il problema dell'organizzazione dei trasporti in un ambito territoriale. A questo scopo, dopo una rapida introduzione allo studio del problema da una prospettiva di teoria dei sistemi, che consente di interpretare lo studio in forma globale, viene presa in esame la mobilità, l'ambiente in cui essa si esplica e le cause che la generano.

Si passa quindi allo studio delle previsioni di sviluppo della mobilità, dell'assegnazione dei movimenti a particolari percorsi, della scelta del mezzo di trasporto.

Sono inoltre forniti elementi sulla teoria del deflusso, sui metodi di rilevamento e sulla capacità dei sistemi di trasporto.

Vengono infine impartite nozioni elementari di statistica, di programmazione lineare e dinamica, di teoria delle file di attesa, riguardanti, la pianificazione dei trasporti.

1031

TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTIDocente: **Ernesto Stagni** prof. ordinario.

Il corso introduce l'allievo allo studio dei problemi del trasporto terrestre, al duplice scopo di chiarire a chi gestisce il trasporto quali sono le prestazioni che possono essere richieste ai sistemi terrestri e di chiarire al progettista quali sono gli elementi di tali sistemi e quali valori essi assumano.

A questo scopo vengono studiati la meccanica della locomozione dei veicoli stradali e ferroviari, i dispositivi di guida e di frenatura nonché i motori endotermici da trazione.

Vengono inoltre studiati gli aspetti organizzativo ed economico aziendale.

2224

TECNOLOGIA DEI MATERIALIDocente: **Daniele Veschi** prof. incaricato stab.

Scopo del corso è l'approfondimento dei concetti affrontati nel corso di Tecnologia meccanica, ponendo l'accento particolarmente sulle caratteristiche di

impiego, sui trattamenti e sulle lavorazioni dei materiali considerati in tale corso.

Il corso si propone altresì l'approfondimento dello studio di alcuni materiali di notevole interesse nelle costruzioni meccaniche quali: rame e sue leghe, alluminio e sue leghe, magnesio e sue leghe, materie plastiche, acciai per usi speciali.

Oltre a ciò il corso vuole fornire un minimo di cognizioni tecniche sui trattamenti di protezione anticorrosiva di uso corrente (ricoprimenti galvanici, trattamenti chimici ecc.), senza però approfondire la trattazione teorica del problema della corrosione dei metalli.

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.

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.

2016

TRAZIONE E PROPULSIONE

Docente: **Paolino Camposano** prof. inc. stab.

(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.

1357

ANALISI MATEMATICA I (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)

Docente: Luigi Pezzoli 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 sintetico del corso: Parte prima.

Elementi della teoria "ingenua" degli insiemi: insiemi e operazioni fra insiemi, funzioni e operazioni, nozione di gruppo, il concetto di ordine, insiemi finiti, numerabili, più che numerabili.

Numeri reali: definizione e rappresentazione.

Successione di numeri reali, il concetto di limite, teoremi fondamentali sui limiti, minimo e massimo limite.

Funzioni reali di una variabile reale, il concetto di limite e di continuità, teoremi fondamentali sulle funzioni continue, uniforme continuità, infinitesimi e infiniti.

Derivazione: definizione e interpretazioni del concetto di derivata, regole di derivazione, i teoremi fondamentali sul calcolo differenziale, la formula di Taylor e le sue applicazioni, funzioni convesse.

Integrazione: Integrali definiti e loro proprietà fondamentali, metodi di integrazione.

Serie numeriche: definizione e criteri di convergenza.

Serie di funzioni: convergenza uniforme e teoremi relativi, serie di potenze, serie di Taylor. Primi cenni sulle equazioni differenziali lineari.

Lo spazio euclideo reale n-dimensionale, insiemi aperti, chiusi, connessi e convessi.

Limiti e continuità per funzioni di n-variabili. Differenziabilità e teoremi relativi.

Testi consigliati:

J.P. CECCONI-G. STAMPACCHIA, *Analisi matematica* (2 volumi).

Gli esami di analisi matematica prevedono una prova scritta e, successivamente, una prova orale.

1355

ANALISI MATEMATICA II (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)

Docente: Garaldo Fanti prof. inc. stab.

Il corso è orientato al completamento della preparazione generale degli studenti in *Analisi matematica*, iniziata nel 1° anno degli studi. Tale preparazione consiste nell'insegnamento dei concetti dei teoremi fondamentali dell'Analisi matematica, con l'ausilio di Esercitazioni e di un corso facoltativo di Complementi di Analisi; lo scopo di questo insegnamento è quello di ottenere che gli studenti siano in grado di impostare i problemi matematici insiti nei problemi tecnici da loro trattati, e di affrontare la risoluzione dei problemi matematici stessi.

Programma del corso.

Integrali semplici generalizzati. Serie numeriche. Serie di funzioni. Serie di potenze. Sviluppi in serie di potenze. Funzione esponenziale e le funzioni circolari nel campo complesso. Formule di Eulero. Potenze e logaritmi nel campo complesso.

Spazi vettoriali. Spazi metrici. Limiti. Continuità. Compattezza. Connessione.

Funzioni definite in sottoinsiemi di R^n e a valori in R . Differenziabilità e teoremi sulle funzioni differenziabili. Formule di Taylor per funzioni di più variabili. Funzioni implicite. Massimi e minimi liberi e vincolati. Integrali multipli. Insiemi misurabili. Teorema di Fubini. Integrali dipendenti da un parametro. Lunghezza di una curva e area di una superficie. Integrali curvilinei e superficiali. Integrali multipli generalizzati. Cambiamento di variabili negli integrali multipli. Formula di Gauss e di Stokes. Forme differenziali lineari.

Equazioni differenziali ordinarie. Problema di Cauchy. Equazioni differenziali lineari.

Serie trigonometriche e serie di Fourier.

Alle tre ore settimanali in cui si svolge il corso si aggiungono tre ore settimanali di Esercitazioni nonchè tre ore facoltative destinate a chiarimenti e complementi. E' previsto inoltre un orario di ricevimento (sei ore settimanali) per gli studenti desiderosi di chiarimenti a livello individuale.

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 II* (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).

L'esame consiste in una prova scritta, diversa per ciascuno dei candidati, e in una prova orale basata fondamentalmente sulla discussione dell'elaborato scritto.

CALCOLO DELLE MACCHINE ELETTRICHEDocente: **Antonino Grande** prof. inc.

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. Elementi di calcolo meccanico degli alberi delle m. elettriche.
Dimensionamento di un albero, verifica statica, studio delle velocità critiche.
6. Metodi di ricerca dell'ottimo nel dimensionamento di una m. elettrica.
7. Argomento particolare variabile di anno in anno.

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.

Precedenze consigliate:

Macchine elettriche e, possibilmente, Calcolo elettronico.

83

CALCOLO ELETTRONICO (esclusi Elettronici e Nucleari)

Docente: Paolo Tiberio prof. straord.

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.

4121

CENTRALI E STAZIONI 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.

Si ritiene opportuno introdurre esercitazioni orientate ad un approfondimento di quanto riguarda il funzionamento automatico delle centrali.

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, Nucleari)

Docente: Agostino Desalvo prof. inc. stab.

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.

Parte I: *Struttura macroscopica e microscopica dei sistemi chimici.*

Struttura atomica della materia. Struttura del nucleo e radioattività. Struttura elettronica degli atomi. Distribuzione degli elettroni negli atomi e sistema periodico. Legame chimico.

Parte II: *I tre stati di aggregazione della materia.*

Stato gassoso. Stato liquido e soluzioni. Stato solido.

Parte III: *Reazioni chimiche ed equilibrio chimico.*

Reazioni chimiche. I principio della termodinamica e termochimica, II principio della termodinamica ed equilibrio chimico. 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).

2025

CHIMICA DEI MATERIALI ELETTRICI

Docente: Antonio Laghi prof. inc. stab.

Lo svolgimento del corso è orientato al concretizzarsi delle conoscenze chimico-fisiche (opportunamente ampliate) in applicazioni che riguardano la formazione professionale, oltre quella propriamente culturale scientifica, del futuro Ingegnere Elettrotecnico.

Infatti, lo studio dei materiali, basato su modelli fisici e chimici di carattere generale, viene finalizzato alle esigenze delle tecnologie elettriche tradizionali e a quelle ragionevolmente prevedibili per il prossimo futuro.

Programma

- I – Strutture dei materiali interessanti le industrie elettriche: cristalli a legame covalente, ionico e metallico; difetti reticolari; sostanze mono e policristalline; micro e macromolecole; liquidi e gas di interesse tecnologico; soluzioni ioniche.
- II – Correlazioni tra proprietà fisiche e strutture dei conduttori, semiconduttori e dielettrici.
- III – Conduzione elettrica; magnetizzazione; polarizzazione.
- IV – Fondamentali processi tecnologici per la preparazione dei metalli puri e dei semiconduttori intrinseci. Leghe metalliche e semiconduttori drogati. Trattamenti termici e processi chimico-fisici riguardanti metalli, leghe, semiconduttori drogati.
- V – Chimica dei materiali dielettrici e isolanti.
- VI – Sistemi elettrochimici: materiali elettrodici; soluzioni ioniche; conduttori ionici allo stato solido e allo stato liquido per fusione. Batteria; elettrolizzatori.
- VII – Alterazione dei materiali per effetto dell'ambiente esterno e per le sollecitazioni derivanti dal loro impiego.

Il corso comprende esercitazioni anche dimostrative (presso il C.N.R.).

Testi consigliati:

Sono disponibili dispense, piuttosto sintetiche, che vengono parzialmente rinnovate ogni anno.

Chi desidera approfondire e ampliare qualche fondamentale capitolo del programma può ricorrere ad uno dei seguenti testi:

L. SOLYNAR and D. WALSH, *Lectures on the electrical properties of materials*, Ed. Clarendon Press-Oxford.

L.V. AZAROFF, *Electronic processes in materials*, Ed. Mc Graw Hill, New York.

O.H. WYATT and D. DEW-HUGHES, *Ceramics and Polymers*, Ed. Oxford University Press.

Un trattato propedeutico, chiaro e semplice, è:

C.O. SMITH, *Scienza dei materiali*, Ed. Franco Angeli, Milano.

2468

COMPLEMENTI DI ELETTROTECNICA

Docente: Paolo Raffaele Ghigi prof. inc.

Nell'insegnamento di "Complementi di Elettrotecnica" sono raccolti diversi argomenti, alcuni puramente teorici, altri a carattere applicativo, che possono costituire un utile complemento alla preparazione degli allievi elettrotecnici.

Un primo gruppo di lezioni tratta argomenti strettamente collegati alla teoria matematica dell'elettromagnetismo, un altro è dedicato ad esporre le caratteristiche dello stato superconduttivo nelle sue diverse forme; un terzo gruppo di lezioni infine illustra alcuni esempi delle applicazioni di potenza rese possibili dalle caratteristiche dello stato superconduttivo.

Sull'ultima parte del corso vengono forniti appunti a cura del docente.

4118

COMPLEMENTI DI MACCHINE ELETTRICHE

Docente: Giorgio Maria Rancoita prof. straord.

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

189

COMPLEMENTI DI MATEMATICHE (per Elettrotecnici)

Docente: Flavio Bonfatti 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.
Propedeuticità consigliate: Analisi matematica I-II.

4122

COMPLEMENTI DI MISURE ELETTRICHEDocente: **Alberto Burchiani** 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;
- il carattere eminentemente applicativo degli argomenti trattati, al fine di fornire allo studente dell'ultimo anno di corso quelle conoscenze pratiche, in fatto di misure, necessarie allo svolgimento della sua professione.

Programma

- a) complementi di prove delle macchine elettriche: si forniscono nozioni dettagliate sulle prove, secondo Norme recenti, di trasformatori di potenza e di motori asincroni, nonché su prove non normalizzate per la rivelazione di caratteristiche degli asincroni;
- b) strumentazione elettronica: si illustrano strumenti ed apparati elettronici di misura, studiati non dal punto di vista della costituzione interna, ma da quello delle caratteristiche di impiego;
- c) trasduttori di misura: si studiano i principali tipi di sensori per la misura per via elettrica di grandezze non elettriche e le loro modalità di utilizzazione;
- d) misure speciali: quali misura di resistenza di terra, misure di scariche parziali, misure inerenti l'illuminotecnica, ecc., a seconda delle disponibilità di tempo.

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 radi-

ci. Sintesi delle reti correttrici. Sistemi non lineari. Componenti dei sistemi di controllo. Elementi di calcolo analogico.

Testi consigliati:

G. MARRO, *Controlli automatici*, vol. I (Teoria), Pitagora Ed.

C. BONIVENTO, *Controlli automatici*, vol. II (Componenti e applicazioni) Pitagora Ed.

Propedeuticità consigliate: Complementi di matematiche, Elettrotecnica II.

Gli esami consistono in una prova scritta e una prova orale. La prova scritta è obbligatoria, ma non sbarrà l'accesso alla prova orale.

1384

Costruzioni di Macchine

Docente: **Pier Gabriele Molari** prof. inc. stab.
(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 lamiera.

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.*

1364

DISEGNO (per Elettrotecnici e Nucleari)

Docente: **Roberto Bettocchi** prof. inc.

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

Programma

Costruzioni geometriche fondamentali. Proiezioni ortogonali. Prospettiva cavaliere 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 semizione. Sezioni parziali. Quotatura: necessità e criteri generali. Quotature in serie, in parallelo, miste. Calibro a corsoio. Trapano, Torno e loro modo di impiego. Quotature secondo controllo ed esecuzione. Proprietà e prove di materiali. Prova di rottura a trazione. Prove di durezza superficiale. Classificazione ghise, acciai. Rame e le sue leghe. Alluminio e le sue leghe. Filettatura: metrica, Whitworth, gas, trapezia e a dente di sega; rappresentazione convenzionale. Collegamenti con viti. Disegno di complessivi. Estrazione di particolari da complessivi. Collegamenti con chiodature e saldature. Organi di collegamento: chiavette longitudinali, linguette, profili scanalati. Esempi di montaggio. Calettamenti su cono. Anelli Seeger. 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'esplicazione grafica degli argomenti trattati.

251

ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE

(per Elettrotecnici, Chimici, 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.

Deperimento, 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 APPLICATADocente: **Vito Antonio Monaco** prof. straord.*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:

Elettrotecnica I, Complementi di matematica.

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.

Circuiti semplici in regime quasi stazionario. Concetto di regime quasi stazionario. Concetti di f.e.m. e di tensione elettrica.

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.

279

ELETTROTECNICA II

Docente: Ugo Reggiani prof. inc.

Il corso si propone come finalità lo studio della Teoria dei circuiti, quale capitolo dell'Elettrotecnica e a complemento dello studio dell'elettromagnetismo classico trattato nel corso di "Elettrotecnica I".

Programma

Complementi di matematica: trasformata di Laplace diretta ed inversa; serie di Fourier e trasformata di Fourier; matrici e loro principali proprietà. Definizione di componente e di circuito elettrico. Vincoli fra correnti e fra tensioni. Relazioni ingresso-uscita delle reti. Relazione ingresso-uscita di tipo differenziale. Funzione di trasferimento. Componenti lineari tempo-invarianti. Teoremi sulle reti lineari: sovrapposizione, reciprocità, compensazione, Thévenin, Norton. Metodi di analisi delle reti chiuse (lineari tempo-invarianti): metodo delle leggi di Kirchhoff, delle correnti di maglia, dei potenziali di nodo. Analisi del regime transitorio. Analisi del regime permanente sinusoidale e del regime stazionario. Analisi delle reti aperte (lineari tempo-invarianti): bipoli, M-porte, doppi-bipoli. Cenni sui circuiti a costanti distribuite.

Testo consigliato:

G. BIORCI, *Fondamenti di elettrotecnica: circuiti*, UTET, Torino.

350

FABBRICATI E COSTRUZIONI INDUSTRIALI

Docente: Adolfo Cesare Dell'Acqua 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 seguente 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.

1368

FISICA I (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)

Docente: **Ettore Verondini** prof. inc. stab.

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, di-

scutendone 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

Legge di Coulomb. Campo elettrico. Legge di Gauss. Potenziale elettrico. Energia elettrostatica. Polarizzazione. Corrente elettrica. Legge di Ohm. Forza di Lorentz. Campo magnetico. Leggi di Laplace. Legge di Ampère. Magnetizzazione della materia. Legge di Faraday-Henry. Energia del campo magnetico. Oscillazioni elettriche. Conservazione della carica. Legge di Ampère-Maxwell. Equazioni di Maxwell. Equazioni di Maxwell. Onde elettromagnetiche piane. Emissione ed assorbimento. Propagazione nella materia. Principio di Huygens. Riflessione e rifrazione. Interferenza. Diffrazione di Fraunhofer. Propagazione in un mezzo anisotropo. Polarizzazione.

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.

430

FISICA TECNICA (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)

Docente: Iginio Di Federico prof. inc. stab.

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 effetti 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. straord.

Finalità del corso

Lo scopo del Corso è quello di destare una sensibilità geometrica nel futuro ingegnere e di fornirgli una buona base per la sua indispensabile cultura geometrica.

*Programma**Elementi di algebra astratta e di algebra classica.*

Insiemi; corrispondenze; strutture — come esempi: le trasformazioni elementari e i loro gruppi da un punto di vista sintetico e analitico. Elementi di calcolo combinatorio. Matrici e determinanti. Sistemi di equazioni lineari omogenee e loro risoluzione. Studio dei polinomi e delle equazioni algebriche in una variabile.

Spazi e geometrie.

Spazio numerico omogeneo e non omogeneo a "n" dimensioni. I gruppi di trasformazioni: i movimenti, le similitudini, le affinità, le omografie. Geometria euclidea, simile, affine, proiettiva.

Geometria sulla retta e sul piano.

La retta euclidea, affine, proiettiva. I fondamenti della geometria euclidea, del piano. Le curve algebriche e trascendenti. Le coniche e le loro proprietà nel piano euclideo, affine e proiettivo.

Geometria nello spazio.

Il piano e la retta nello spazio affine. I fondamenti della geometria euclidea nello spazio ordinario. Le curve e le superficie algebriche e trascendenti. Alcuni cenni sulla teoria delle quadriche.

Elementi di geometria differenziale delle curve e delle superficie.

La nozione di contatto fra curve, fra superficie, fra curve e superficie. Curve piane: retta tangente, punti semplici, multipli e punti di flesso; cerchio osculatore e curvatura; curva involuppo di un sistema.

Curve nello spazio ordinario: retta tangente, piano osculatore; flessi; triedro principale, cerchio osculatore; flessione e torsione.

Superficie: piano tangente, tangenti asintotiche; punti iperbolici, parabolici, el-

littici; punti multipli; superficie involuppo di un sistema.

Testi consigliati:

M. VILLA, *Elementi di Algebra*, Patron, Bologna.

M. VILLA, *Lezioni di Geometria per studenti di Ingegneria*, Cedam, Padova.

490

IDRAULICA (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)

Docente: Gianni Luigi Bragadin prof. inc.

Programma

Unità di misura, omogeneità, teorema π . Costanti meccaniche dei liquidi. Equazione di continuità. Equazione del moto dei mezzi continui. Idrostatica: misure 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: luci a battente e a stramazzo. 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. Moto permanente nei canali, profili di rigurgito. Il risalto idraulico. Cenni sul moto vario gradualmente variato nei canali scoperti. Moto vario nelle condotte in pressione: fenomeni di colpo d'ariete. Equazioni 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).

506

IMPIANTI ELETTRICI I

Docente: Mario Pezzi prof. inc.

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 la generazione e il trasporto dell'energia elettrica.

Programma**Distribuzione.**

Distribuzione primaria e secondaria — Reti di distribuzione di tipo radiale, ad anello, a maglia, in banking — Distribuzione nei complessi industriali e per usi civili.

Linee elettriche.

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 — Studio delle linee corte — Espressioni di calcolo per la sezione dei conduttori — Esempi di calcolo di linee.

Manovra e protezione.

Teoria dell'arco elettrico — Interruzione in c.c. e in c.a.; Interruttori — Sezionatori — Sezionatori sotto carico — Fusibili.

Impianti di terra.

Curva di pericolosità della corrente — Tensione di passo e di contatto — Relè differenziali — Normativa sulla messa a terra — Dispersori — Impianti di terra negli edifici civili e industriali e nelle cabine.

Testi consigliati:

FALETTI, *Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica*, Patron.

ILICETO-ROSATI, *Impianti di distribuzione dell'energia elettrica*, Siderea, Roma.

508

IMPIANTI ELETTRICI II

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 voll. Patron, Bologna).

4134

IMPIANTI IDROELETTRICI E DI RIVALUTAZIONE DELL'ENERGIA

Docente: Paolo Lamberti prof. inc.

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.

517

IMPIANTI NUCLEARI

Docente: **Enrico Sobrero** prof. inc. stab.
(v. Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare)

Il corso, fondamentale sul piano nazionale per il C.d.L. in Ingegneria Nucleare, è previsto anche fra quelli a scelta del C.d.L. in Ingegneria Elettrotecnica; per una proficua frequenza e preparazione, si consiglia pertanto agli studenti della sezione elettrotecnica, di associare il corso di Impianti Nucleari ad uno o due corsi di preparazione in campo nucleare, da definire anche in relazione ad una prossima modifica dell'ordinamento degli studi ed alle particolari scelte dei singoli studenti.

Lo scopo del corso è quello di fornire una preparazione nel settore degli impianti termonucleari, in particolare per la produzione di energia elettrica, e di esaminare gli elementi fondamentali concernenti gli impianti di arricchimento e di trattamento dei combustibili nucleari.

La prima parte del programma è dedicata alla sorgente nucleare, cioè "il nocciolo" negli aspetti termici, termoidraulici e termomeccanici, con particolare riferimento ai reattori di tipo provato ed a quelli in fase pre-industriale.

La seconda parte concerne lo studio, la scelta e l'ottimizzazione dei cicli termodinamici degli impianti di potenza ed affronta pertanto problemi di base, di scelte di componenti, di ubicazione, di sicurezza e necessariamente confronti di natura economica.

Lo studio delle caratteristiche tecniche di alcuni tipi di impianti, della progettazione e del dimensionamento di componenti fondamentali è oggetto di una terza parte del corso.

La parte finale è normalmente dedicata ad elementi di impiantistica generale ed allo sviluppo dei criteri di progettazione e di calcolo di alcuni tipici componenti quali ad esempio i contenitori di sicurezza ed all'esame dei principali problemi inerenti lo smaltimento e/o lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi.

663

MACCHINE (per Elettrotecnici, Chimici, Minerari, Nucleari)

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

Termodinamica tecnica, equazione energetica del moto dei Fluidi, lavoro specifico delle macchine motrici ed operatrici, scambiatori di calore. Comportamento reale del fluido e influenze delle perdite interne sulla trasformazione; comportamento reale della macchina. Funzioni di stato, rappresentazione delle trasformazioni e dei cicli sui vari diagrammi, proprietà dei diversi fluidi, combustibili e combustione.

Principali impianti termici: impianti di turbina a gas, impianti a vapore del tipo industriale e di potenza, impianti a vapore a due fluidi e nucleari, impianti frigoriferi a compressione e ad assorbimento.

Scambiatori di calore. Generatori di vapore. Condensatori.

Macchine termiche rotanti: comportamento del fluido nei condotti fissi e mobili, lavoro specifico per via interna, perdite e rendimenti; turbine per impianti a controcompressione e di potenza; compressori centrifughi ed assiali.

Macchine termiche alternative: diagramma indicatore, dimensionamento. Compressori alternativi; motori a combustione interna; cicli misti di motori alternativi e turbine a gas, motori a capsulismo con rotore planetario.

Macchine idrauliche: equazione di Eulero, lavoro idraulico, carico, prevalenza, perdite idrauliche, lavoro meccanico, perdite meccaniche. Turbine Pelton, Francis, ad elica e Kaplan; indice caratteristico.

Pompe alternative, a capsulismi, centrifughe ed assiali, curve caratteristiche, particolarità di funzionamento ed 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. straord.

Il corso si propone di fornire i fondamenti del funzionamento delle macchine elettriche e le loro caratteristiche in relazione alle esigenze tecniche attuali.

Programma

1. Equazione delle macchine elettriche fondamentali per affrontare lo studio sia del funzionamento a regime che di quello transitorio;
2. Calcolo dei parametri che intervengono nelle equazioni delle macchine elettriche in vista del progetto delle macchine stesse;

3. Elementi di progetto;
4. Finalità delle macchine elettriche tradizionali e speciali in relazione ai problemi tecnici attuali;
5. Descrizione ed equazioni che caratterizzano il funzionamento delle macchine elettriche speciali (birotativa, motore lineare, ecc.);
6. Regolazione della velocità delle macchine elettriche mediante apparecchiature che impiegano semiconduttori.

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.

4139

MATERIALI SPECIALI PER L'ELETTROTECNICA E L'ELETTRONICA

Docente: Ermanno Goracci prof. inc. stab.

Il corso ha scopi di carattere generali quali quelli di stimolare gli studenti a prestare molta 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).

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, Nucleari)

Docente: Fausto Caboni prof. straord.

Scopo del corso:

Fornire le cognizioni fondamentali per lo studio dei meccanismi, studiando la cinematica, la trasmissione delle forze e dei momenti, le perdite, ecc.

Programma

La composizione cinematica delle macchine: coppie cinematiche, catene cinematiche, meccanismi.

Velocità ed accelerazioni dei membri dei meccanismi, le resistenze passive, il rendimento.

I principali meccanismi: meccanismi a vite ed a cuneo; sistemi articolati; trasmissioni con ruote di frizione e ruote dentate; trasmissioni con cinghie e catene; freni a nastro ed a ceppi; meccanismi a camme; apparecchi di sollevamento.

L'equilibrio degli organi rotanti.

L'uniformità del moto delle macchine: volani e loro calcolo; la regolazione delle macchine motrici.

Testo consigliato:

PROSCIUTTO, *Elementi di meccanica applicata alle macchine*, ed. Patron, Bo.

Propedeuticità: Meccanica razionale.

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: Gino Goldoni prof. straord.

Il corso si propone di fornire le basi razionali alla trattazione dei fenomeni meccanici di equilibrio e di moto, affrontati coi metodi del calcolo infinitesimale. Propedeutico quindi ad ogni corso successivo che si occupi di problemi e di questioni di equilibrio o di moto di punti o di corpi materiali.

Programma

Calcolo vettoriale. Rappresentazione scalare dei vettori e delle operazioni. Componenti covarianti e controvarianti. Derivazione e integrazione vettoriale. Proprietà differenziali delle linee interessanti la macchina. Cinematica del punto. Velocità ed accelerazioni e loro componenti covarianti e controvarianti. Moti elementari. Cinematica del corpo rigido. Distribuzione delle velocità e delle accelerazioni. Moti rigidi principali. Cinematica relativa: composizione delle velocità; teorema di Coriolis.

Statica del punto e dei sistemi materiali. Nozione di vincolo e di reazione vincolare. Equazioni cardinali dell'equilibrio dei sistemi materiali e loro uso. Principio dei lavori virtuali e sua applicazione allo studio dell'equilibrio. Equilibrio dei fili.

Dinamica del punto libero e vincolato. Forma lagrangiana delle equazioni differenziali scalari del moto del punto. Teorema di Weierstrass. Problema dei 2 corpi e problemi di moto di particelle elettrizzate in campi elettrici e magnetici. Dinamica dei sistemi: impostazione e trattazione del moto di sistemi materiali sia con l'uso delle equazioni cardinali, sia coll'uso del principio di d'Alembert.

Testi consigliati:

- C. AGOSTINELLI, A. PIGNEDOLI, *Meccanica Razionale*, ed. Zanichelli, Bologna vol. 1° e 2°;
 B. FINZI, *Meccanica Razionale*, ed. Zanichelli, Bologna, vol. 1° e 2°;
 D. GRAFFI, *Elementi di Meccanica Razionale*, ed. Patron, Bologna;
 D. GRAFFI, *Esercizi di Meccanica Razionale*, ed. Patron, Bologna.

Esami:

orale, eventualmente preceduto, a richiesta, da esercizio scritto. L'esercizio costituisce in ogni caso la domanda iniziale, su argomento di statica o di dinamica. Lo sviluppo dell'esercizio rappresenta, di norma, il motivo a domande successive su argomenti teorici collegati allo sviluppo stesso.

Propedeuticità consigliata: Analisi Matematica I e II; Geometria.

732

MISURE ELETTRICHEDocente: **Mario Rinaldi** prof. inc.

Il corso ha lo scopo di introdurre gli allievi alla vasta problematica delle Misure elettriche, intendendo con questa espressione sia le misure relative alle grandezze elettriche (tensione, corrente, etc.), sia alle grandezze non elettriche misurabili per via elettrica.

Il corso sviluppa tutti gli argomenti fondamentali connessi con la disciplina: il significato di una misura, la precisione della stessa, le unità e le cifre significative con le quali se ne esprime il risultato, la teoria degli errori e le loro leggi di propagazione.

Inoltre viene descritta e spiegata la strumentazione di base per le misure elettriche illustrandone il principio di funzionamento, le caratteristiche, le prestazioni possibili ed i criteri di scelta degli strumenti nella esecuzione delle misure dirette.

Alla strumentazione segue l'esame dei metodi di misura, cioè dei procedimenti da utilizzare nella pratica sia per la impossibilità di rilevare altrimenti l'entità di una grandezza elettrica sia per il conseguimento di una particolare precisione.

L'esame suddetto dei metodi fa riferimento diretto alle grandezze da misurare ed alle loro caratteristiche, siano esse di natura elettrica o di natura diversa.

Infine viene affrontato il problema della registrazione, della elaborazione e della trasmissione a distanza dei risultati delle misure elettriche: in particolare viene discussa in questa parte del corso, la convenienza a disporre di un segnale di misura in forma analogica o in forma numerica; vengono trattate le modalità e descritti i dispositivi per eseguire le conversioni.

Propedeuticità: Elettrotecnica I e II.

Testi consigliati:

MODONI-DORE, *Misure elettriche*, Patron, Bologna.

Verranno inoltre forniti appunti delle lezioni.

890

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (per Elettrotecnici, Chimici, Nucleari)Docente: **Angelo Di Tommaso** prof. straord.

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 ed Industriali.

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).

Il Corso consiste in (5 ÷ 6) ore settimanali di lezioni ed esercitazioni per un totale di circa 140 ore. Gli esami consistono in una prova scritta ed un successivo colloquio.

Testi consigliati:

- A) BOSCOFECASE-DI TOMMASO, *Statistica applicata alle Costruzioni*, Patron, Bologna.
- B) CAPURSO, *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, Pitagora, Bologna.
- C) BELLUZZI, *Scienza delle Costruzioni*, Zanichelli, Bologna.

Propedeuticità consigliate: Analisi Matematica I e II, Geometria, Fisica I, Meccanica Razionale.

4151

STRUMENTAZIONE E REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTI

Docente: **Mario Rinaldi** prof. inc. stab.

Scopo del corso è il particolare approfondimento dei temi già introdotti in corsi fondamentali. La prima parte è dedicata alla regolazioni nelle reti elettriche, la seconda alla strumentazione negli impianti elettrici ed ai telecontrolli sia in questi che in altri impianti.

Programma

Regolazione della tensione in una rete elettrica: regolazione della tensione in un nodo; diagrammi circolari delle potenze; equazioni che esprimono la tensione in un nodo in funzione delle tensioni applicate e delle potenze immesse negli altri nodi; dispositivi per la regolazione della tensione.

Le apparecchiature di misura negli impianti elettrici: richiami sugli strumenti elettrici di misura; scelta degli apparati di misura per le stazioni di trasformazione con esempi di applicazione.

Telecontrolli: l'esercizio centralizzato di impianti interdipendenti; esercizi automatizzati; sistemi di comunicazione e trasmissione di informazioni; telecomandi, teleregolazioni, telesegnalazioni e telemisure. Esempi di applicazione: impianti elettrici, industriali in genere, impianti di erogazione di gas e acqua.

Propedeuticità consigliate: Elettrotecnica I e II, Impianti elettrici I e II, Elettronica applicata.

4153

TECNICA DELLE ALTE TENSIONIDocente: **Gianni Pattini** prof. inc.

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.

1046

TECNOLOGIE ELETTRICHEDocente: **Luciano Simoni** prof. straord.

Il corso si propone come scopo fondamentale di accostare gli allievi alla problematica della realizzazione pratica degli apparati elettrici, dal punto di vista soprattutto della scelta dei materiali più idonei per le singole applicazioni.

Preminenza viene data allo studio dei materiali isolanti, di cui vengono analizzate e discusse le proprietà macroscopiche ed il comportamento sotto sollecitazione termica ed elettrica. A titolo di esemplificazione vengono trattati in dettaglio due importanti componenti degli impianti elettrici nei quali la tecnologia dei materiali isolanti assume particolare importanza, e cioè i cavi energia e i condensatori di potenza.

Programma

Proprietà dei dielettrici: polarizzazione, conducibilità statica, perdite e rilassamento, circuiti equivalenti. La scarica nei solidi, per instabilità termica e per scariche parziali. Metodi di analisi statistica e teoria probabilistiche della scarica. Invecchiamento termico degli isolanti. Durata sotto tensione.

Proprietà fondamentali ed esame comparativo dei principali materiali conduttori nelle applicazioni di potenza.

Materiali magnetici: proprietà generali, caratteristiche dei principali materiali e tecniche costruttive dei nuclei magnetici.

Cavi energia: progetto termico ed elettrico; descrizione e tecnologia.

Condensatori di potenza: criteri di progetto, descrizione e tecnologia.

L'*organizzazione didattica* prevede, oltre alle lezioni e ad esercitazioni numeriche, visite tecniche a importanti industrie elettriche e lavori di gruppo, nei quali gli studenti, sotto la guida di un docente, sviluppano temi di particolare attualità in campo tecnologico.

Le *dispense* del corso, in 5 parti, sono interamente editate dalla Cooperativa Libreria Universitaria.

2049

TECNOLOGIE GENERALI

Docente: **Vincenzo Dal Re** prof. inc.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Chimica)

2016

TRAZIONE E PROPULSIONE

Docente: **Paolino Camposano** prof. inc. stab.

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

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

- 83 Calcolo elettronico
- 251 Economia ed organizzazione aziendale
- 350 Fabbricati e costruzioni industriali
- 430 Fisica tecnica
- 490 Idraulica
- 663 Macchine
- 1385 Meccanica applicata alle macchine
- 890 Scienza delle costruzioni

v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica.

1360

CHIMICA

Docente: **Piero Manaresi** prof. straord.

*Programma:**Parte I: Struttura macroscopica e microscopica dei sistemi chimici.*

La struttura atomica della materia: Sistemi eterogenei e sistemi omogenei; concetti di fase - Composti ed elementi chimici. Cenni storici sulle esperienze per determinare le particelle costitutive dell'atomo - Grandezza e massa degli atomi; cenni sulla determinazione delle masse atomiche. Gli isotopi - Concetto di peso atomico. Scale dei pesi atomici.

Struttura del nucleo e radioattività: Numero di massa e numero atomico - Difetto di massa ed energia nucleare - Stabilità ed instabilità nucleare - Radioattività $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ - Famiglie radioattive naturali - Velocità di disintegrazione - Cenni sui processi di fissione e fusione nucleare.

Struttura elettronica degli atomi: Quantizzazione dell'energia e modello atomico di Bohr - Transizioni elettroniche e spettri - Principio di indeterminazione - Natura dualistica dell'elettrone - La funzione d'onda ed il suo significato - Numeri quantici e orbitali; gruppi e sottogruppi di orbitali e livelli energetici per l'atomo di

idrogeno - Orbitali atomici in atomi con più elettroni.

Distribuzione degli elettroni negli atomi e sistema periodico: Principio di esclusione e regola di Hund - Occupazione progressiva degli orbitali - Sistema periodico degli elementi: periodi e gruppi - Variazione periodica delle proprietà chimiche e fisiche degli elementi - Descrizione dei gruppi; elementi tipici, serie di transizione, lantanoidi e attinoidi.

Legame chimico: Tipi diversi di interazioni tra atomi. a) Il legame ionico; potenziali di ionizzazione e affinità elettroniche - Valenza ionica; strutture e proprietà di composti ionici. b) Il legame covalente; orbitali molecolari nelle molecole biatomiche - Molecole biatomiche eteronucleari; legame polarizzato - Orbitali e geometria molecolare - Orbitali ibridi e strutture di alcune molecole poliatomiche tipiche - Legami multipli - Orbitali molecolari delocalizzati - Legame covalente di coordinazione; esempi di "ioni complessi". c) Legame metallico e cenni sulla teoria delle bande nei solidi. d) Legami deboli tra le molecole; legame a idrogeno, forza di Van der Waals.

Parte II: I tre stati di aggregazione della materia:

Lo stato gassoso: richiami alle leggi fondamentali - Gas ideali e gas reali - Equazione di stato dei gas perfetti ed equazione di Van der Waals per i gas reali - Temperatura critica e liquefazione dei gas.

Lo stato liquido e le soluzioni: Le forze intermolecolari nei liquidi - Proprietà fisiche dei liquidi; tensione di vapore.

Tipi diversi di soluzioni: gassose, liquide, solide. L'azione del solvente e la solvatazione. Modi di esprimere la composizione delle soluzioni. Proprietà colligative: abbassamento della pressione di vapore, innalzamento ebullioscopico ed abbassamento crioscopico, pressione osmotica. Le soluzioni ideali e leggi di Raoul.

Lo stato solido: Solidi amorfi e solidi cristallini - Tipi diversi di strutture cristalline determinati dal tipo di legame tra gli atomi: cristalli ionici, covalenti molecolari, atomici e metallici - Alcuni esempi di strutture cristalline.

Parte III: Reazioni chimiche ed equilibrio chimico.

Stechiometria: Richiamo alle leggi classiche delle combinazioni chimiche. Formule chimiche - Calcoli stechiometrici - Reazioni senza trasferimento di elettroni. Le reazioni di ossidoriduzione; numeri di ossidazione - Peso equivalente nelle diverse reazioni.

I Principio della termodinamica e termochimica: Nozioni fondamentali di termodinamica: sistemi, funzioni di stato, lavoro, calore - I principio della termodinamica. energia interna e entalpia - Stati standard - Entalpie di fusione, evaporazione, sublimazione, soluzione, atomizzazione - Entalpia standard di formazione di un composto - Legge di Hess e applicazioni: calcolo delle entalpie di formazione e di reazione e delle energie di legame.

II Principio della termodinamica ed equilibrio chimico: Processi reversibili e irreversibili - II Principio della termodinamica ed entropia - Significato probabilistico dell'entropia - III principio della termodinamica e calcolo dell'entropia assoluta - Energia libera e spontaneità di una reazione - Energia libera standard di formazione - Variazione di energia libera in una reazione e costante di equilibrio. Va-

riazione di energia libera in una reazione e costante di equilibrio. Variazione della costante di equilibrio con la temperatura - Equilibrio chimico nelle reazioni omogenee: determinazione della composizione chimica all'equilibrio - Spostamento dell'equilibrio per variazioni di concentrazione o di pressione: principio di Le Chatelier - Equilibri eterogenei - Reazioni irreversibili.

Equilibri ionici in soluzione acquosa: Dissociazione dell'acqua, pH e calcolo del pH - Acidi, basi e sali - Idrolisi dei sali - Prodotti di solubilità - Elettroliti anfoteri.

Elettrochimica: Proprietà dell'acqua come solvente - Conducibilità elettrica delle soluzioni: elettroliti deboli e forti.

Potenziali elettrodi e celle chimiche reversibili. L'equazione di Nernst - Serie elettrochimica dei potenziali standard e sue applicazioni. Elettrolisi: tensione di decomposizione e prodotti dell'elettrolisi - Elettrolisi dei sali fusi e in soluzione acquosa. Leggi di Faraday - Cenni sui fenomeni di corrosione.

Equilibri nei sistemi polifasici: Regola delle fasi.

Cinetica delle reazioni chimiche - Velocità di reazione; influenza della concentrazione dei reagenti: l'equazione cinetica. Ordine di reazione e molecolarità; reazioni elementari e reazioni in più stadi. Influenza della temperatura sulla velocità di reazione; teoria delle collisioni; il complesso attivato. Catalisi omogenea ed eterogenea: azione dei catalizzatori.

Parte IV. Gli elementi chimici.

Richiamo delle caratteristiche chimiche generali delle famiglie di elementi tipici in relazione alla posizione occupata nel sistema periodico ed alla configurazione elettronica.

Metalli alcalini e 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 - Elementi di transizione e loro caratteristiche generali; Mn, Fe e Cu quali esempi.

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

Testi consigliati:

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

B.H. MAHAN, *Chimica generale e inorganica*, Ed. Ambrosiana, Milano.

BRESCHI-MASSAGLI, *Stechiometria*, Ed. G. Pellegrini, Pisa.

92

CHIMICA APPLICATA (per Chimici)

Docente: Luciano Pentimalli prof. straord.

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 raffineria). 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.

115

CHIMICA E TECNOLOGIA DEI PRODOTTI CERAMICI

Docente: Carlo Palmonari prof. inc.

Il corso si propone la formazione dell'ingegnere chimico per la tecnologia di produzione dei materiali ceramici tradizionali e speciali 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 cotti, combustibili, infornatura, impianti, strumenti di controllo.

I prodotti - Laterizi, piastrelle, leganti, argille espanse, tubi, vetri e smalti, stoviglie, sanitari, artistica, 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.

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 siste-

mi chiusi a composizione variabile. Il potenziale chimico. Condizione di spontaneità di una reazione a T e P costanti e condizione di equilibrio.

c) Tipi di relazioni matematiche fra le grandezze termodinamiche ed espressioni delle grandezze stesse in funzione delle variabili di stato.

d) Sistemi gassosi. Gas ideali e non ideali. Equazioni di stato generali per i gas non ideali. Fattore di comprimibilità. Stati corrispondenti di gas diversi e metodi generalizzati di espressione e di calcolo del fattore di comprimibilità di un gas qualunque. Metodi di calcolo delle grandezze termodinamiche di un gas non ideale, con particolare riguardo all'uso di diagrammi generalizzati. Espressione della energia libera molare d'un gas ideale e sua estensione ai gas non ideali; fugacità ed attività d'un gas puro e scelte convenzionali degli stati standard. Metodi di calcolo della fugacità di un singolo gas, con particolare riferimento all'uso di diagrammi generalizzati. Sistemi gassosi a più componenti, ideali e non ideali; le leggi di Amagat e di Dalton e le loro conseguenze riguardo al calcolo delle grandezze termodinamiche di miscele 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 gassosa: collisioni molecolari reattive; energia di attivazione; fattore sterico; velocità di reazione e temperatura. Analisi dei principali tipi di reazioni complesse: reazioni parallele, consecutive, opposte (l'equilibrio chimico dal punto di vista cinetico); reazioni a catena. Reazioni in

soluzione; effetti cinetici salini. Reazioni catalitiche; l'azione dei catalizzatori; reazioni catalitiche omogenee in fase gasosa e in soluzione; reazioni catalitiche eterogenee: isoterme di adsorbimento ed equazioni cinetiche.

Testi consigliati:

Per la termodinamica:

DENBIGH, *I principi dell'equilibrio chimico*, (traduz. ital.; Casa editrice Ambrosiana, Milano);

HOUGEN, WATSON, RAGATZ, *Principi dei processi chimici* (vol. I: Bilanci di materia e di energia: vol. II: Termodinamica - Traduz. ital.; Casa Ed. Ambrosiana, Milano).

Appunti delle lezioni del titolare del corso.

Per la cinetica:

LAIDLER, *Chemical Kinetics* (McGraw Hill, New York).

Appunti ausiliari.

Propedeuticità consigliata:

Fisica tecnica (per la termodinamica generale).

Esami: discussione orale di argomenti svolti nel corso, preceduta da una prova scritta inerente a calcoli di termodinamica chimica.

137

CHIMICA INDUSTRIALE

Docente: Franco Magelli prof. inc.

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. Confronto con altri Paesi industrializzati. *Processi di separazione.* Distillazione estrattiva e azeotropica; estrazione con solvente; adsorbimento. Separazione solido-gas e solido-liquido. Lavoro minimo di separazione; exergia. Legame tra proprietà molecolari e possibilità di impiego del processo. Classifica-

zione dei processi; criteri di scelta. *Termodinamica chimica*. Richiami. Attuabilità di una reazione chimica. Rese di trasformazione; sottoprodotti. Calcolo di grandezze termodinamiche con il metodo dei contributi di gruppo.

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. *Idrodesolforazione 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. Nitrato d'ammonio. Urea. *Acido solforico*. Anidride solforosa; conversione; assorbimento. Schema di impianto. Inquinamento da gas solforosi. Processo catalitico omogeneo (cenni). *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, ed amalgama, a membrana. Celle De Nora. Impieghi della soda elettrolitica e del carbonato sodico. *Etilene*. Steam cracking. Separazione e purificazione dei prodotti. Processi. Principali linee di lavorazione di etilene, propilene, C₄, aromatici. Aspetti economici.

Testi consigliati:

- 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 diagrammi illustrati a lezione.
 C.J. KING, *Separation Processes*, McGraw-Hill, 1971.
 D.F. RUDD e altri, *Process Synthesis*, Prentice-Hall, 1973.
 A.V.G. HAHN, *The Petrochemical Industry: Markets and Economics*, Mac Graw-Hill, 1970.
 R.N. SHREVE, *Chemical Process Industry*, McGraw-Hill, 1967.

Esame orale preceduto da una prova scritta.

Propedeuticità consigliate. Principi di Ingegneria Chimica, Impianti Chimici, Impianti Chimici II.

CHIMICA ORGANICADocente: **Leonardo Marchetti** prof. straord.

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 molecolare. Isomeria in Chimica Organica. Nomenclatura e semplici reazioni degli idrocarburi, dei derivati organici degli acidi alogenidrici, dell'acqua, dell'ammoniaca, dei composti carbonilici. Elementi di sintesi organica. Delocalizzazione elettronica e risonanza. Stereoisomeria (cenni). Effetti induttivi, di risonanza e sterici. 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. Reazioni degli acidi carbossilici e loro derivati. Trasposizioni molecolari (cenni). Reazioni di sostituzione in serie aromatica. Carboidrati (cenni). Composti eterociclici (cenni). Macromolecole e polimeri: concetti fondamentali.

*Testi consigliati*KICE A. MARVELL, *Principi di Chimica Organica*, Ed. Piccin, Padova.

Il corso è integrato da esercitazioni in aula. Esami orali.

Propedeuticità consigliata

Si consiglia di fare precedere l'esame dall'esame di Chimica.

COSTRUZIONE DI APPARECCHIATURE CHIMICHEDocente: **Giorgio Bartolozzi** prof. ord. (inc.)

Il corso si propone di fornire le nozioni fondamentali della progettazione costruttiva e del calcolo di dimensionamento dei componenti strutturali e meccanici delle apparecchiature chimiche, avuto riguardo anche ai problemi tecnologici, di fabbricazione, nonché agli aspetti della affidabilità e della sicurezza di esercizio.

Programma

Organizzazione del corso: L'ingegnere chimico e i problemi di progetto e costruzione delle apparecchiature chimiche.

Progettazione costruttiva di un recipiente a pressione. Scelta dei materiali.
 Problemi tecnologici nella fabbricazione di un recipiente a pressione. Saldature.

Considerazioni economiche sulla costruzione dei recipienti a pressione.
 Controlli non distruttivi e collaudi dei recipienti a pressione.
 Norme ASME e ANCC sui contenitori.

Stato tensionale membranale nei recipienti cilindrici, sferici, "multisfera", torici.

Stato tensionale 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.

Dimensionamento degli alberi ruotanti.

Dimensionamento di prima approssimazione di ruote dentate, cuscinetti, tenute, imbiattamenti. Cenni sulle tolleranze dimensionali.

Testi consigliati

Trattati di Scienza delle Costruzioni e di Calcolo Strutturale.

Trattati di Scienza dei materiali e di Tecnologia dei recipienti a pressione.

Raccolta di norme di sicurezza.

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

Esami con prova scritta: svolgimento del progetto costruttivo di massima di una apparecchiatura chimica.

Tesi di laurea di progettazione e sperimentali su recipienti a pressione.

4129

DINAMICA E CONTROLLO DELLE APPARECCHIATURE CHIMICHE

Docente: **Gabriele Pasquali** prof. inc.

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 pro-

gettazione 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 sede di reazioni chimiche e di processi di scambio di materia e di calore. Uso delle correlazioni di processo nei modelli dinamici. Metodi numerici per la soluzione delle equazioni differenziali con particolare riferimento al transitorio delle apparecchiature più comuni. Metodi di analisi, uso dell'approssimazione lineare e linearizzazione, metodi per la soluzione dei modelli lineari. Esame del campo di validità dei modelli lineari.

Richiami sulla trasformata di Laplace. Esame degli ingressi in un processo chimico, disturbi tipici, loro rappresentazione matematica e relativa L-trasformata. Determinazione della risposta dinamica di un sistema mediante l'uso della trasformata di Laplace, funzione di trasferimento. Analisi frequenziale, diagramma di Bode.

Apparecchiature chimiche a stadi (modelli a parametri concentrati), elementi caratteristici della risposta di sistemi del primo e secondo ordine e di apparecchiature a più stadi. Determinazione dei parametri caratteristici del modello dalla risposta dinamica dell'apparecchiatura. Apparecchiature chimiche a contatto continuo (modelli a parametri distribuiti), flusso a pistone con e senza diffusione assiale, apparecchiature in equi e 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 retroazione. 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 saldatura 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

- E. SOBRERO, "Corso di Disegno" Parte prima e seconda, Pitagora Editrice Bologna.
 G. COLI, "Corso di Disegno" Parte seconda, Pitagora Editrice Bologna.

275

ELETTROTECNICA (per Chimici, Minerari, e Nucleari)

Docente: Maria Laura Ambrosini prof. inc.

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 Kirchhoff 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.

Generalità sulle macchine rotanti in corrente alternata: nozioni costruttive; campo 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.

501

IMPIANTI CHIMICI

Docente: Ugo Lelli prof. ord.

Oggetto del corso è lo studio di una prima parte delle operazioni fondamentali (unit operations). Scopo del corso è quello di fornire criteri per la scelta e il calcolo dei principali apparati chimici impiegati per tali operazioni, ponendo l'accento sulla comprensione dei fenomeni chimico-fisici che regolano il funzionamento degli apparati stessi.

Programma

1) *Scambiatori di calore*. Richiami sulla trasmissione del calore. Descrizione dei

principali tipi di scambiatore di calore e criteri di scelta; progettazione secondo il metodo Kern. Studio dei condensatori e dei ribollitori specie in vista del loro impiego per apparecchiature di distillazione. Standard costruttivi. Tubi allettati. Refrigeranti ad aria. Problemi di coibentazione.

2) *Operazione di trasporto di materia tra fasi gassose e liquide.* Generalità sulle operazioni di scambio di materia. Operazioni continue e discontinue. Apparecchiature a piatti e a contatto continuo. Varie definizioni di rendimento dei piatti e loro correlazione. *Assorbimento e stripping.* Specificazione delle apparecchiature di assorbimento. Calcolo delle colonne d'assorbimento a piatti. Metodi grafici e analitici per sistemi a uno e più componenti. - Fluidodinamica dei piatti. Particolari costruttivi. - Colonne riempite. Perdite di carico e velocità limite. Calcolo del volume delle colonne d'assorbimento. Equazione di Whitman. Metodo delle unità di trasporto. Considerazioni economiche; confronto con le colonne a piatti. Abbinamento di colonne di assorbimento e stripping. Disposizioni impiantistiche. - *Distillazione.* Distillazione continua e discontinua di sistemi binari e a più componenti, in apparati a singolo stadio. Colonna completa. Colonne di arricchimento puro e di esaurimento puro. Gradi di libertà. Sistemi binari: 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.

Programma

Reattori chimici. Generalità. Tipi di reattori usati nell'industria chimica e criteri di scelta. Stechiometria di sistemi ad una e più reazioni chimiche. Richiami fondamentali di termodinamica chimica con particolare riguardo ai metodi analitici per la soluzione degli equilibri simultanei. Richiami fondamentali di cinetica chimica. Espressione della velocità di reazione per sistemi reagenti omogenei ed eterogenei e per sistemi complessi di reazioni chimiche: reazioni catalitiche, reazioni enzimatiche, reazioni a catena con particolare riferimento alle reazioni di polimerizzazione per addizione. Espressione della velocità di reazione per i processi catalitici gas solido. I processi che avvengono alla superficie solida catalitica: adsorbimento fisico e chimico; alcune espressioni delle isoterme di chemiadsorbimento. I processi diffusivi all'esterno e all'interno del catalizzatore. Metodi per la determinazione della velocità di reazione pseudomogenea con riferimento ad un determinato riempimento catalitico; fattore di efficienza di un catalizzatore: definizione e calcolo per le geometrie tipiche in condizioni isothermiche e no. Criteri pratici per la determinazione del regime dominante il processo catalitico. Reattori continui a tino: generalità e modello CSTR. Equazioni del bilancio di materia e di energia in condizioni stazionarie e no, in presenza di una reazione singola e di un sistema complesso di reazioni chimiche: problemi di resa e selettività. Equazioni di progetto relative alle situazioni tipiche. Determinazione dello stato stazionario di un CSTR; molteplicità di stati stazionari. Esame della stabilità degli stati stazionari secondo van Heerden e trattazione analitica del problema secondo il I e II metodo di Lyapunov. Batterie di reattori continui a tino: generalità e studio di alcune situazioni tipiche di progetto. Reattori tubolari: generalità e modello PFR. Equazioni del bilancio di materia, quantità di moto ed energia in condizioni stazionarie. Studio dei problemi di progetto tipici: reattore adiabatico, isotermico, con profilo di temperatura assegnato, con scambio di calore attraverso la parete laterale. Reattori adiabatici: generalità. Reattori discontinui e PFR adiabatici; reattori a tino adiabatici. Reattori adiabatici a stadi multipli: problemi di ottimo.

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 della ingegneria chimica. Equazioni di calcolo per il trasporto di fluidi newtoniani e non-newtoniani; per fluidi comprimibili nelle situazioni isothermica e adiabatica. Equazioni di calcolo per il trasporto in condotti di sistemi eterogenei gas/liquido. Determinazione del diametro ottimo di un condotto. Metodi per la soluzione di problemi relativi a reti di condotti. Macchine operatrici per il trasporto dei fluidi: generalità e criteri di scelta. Pompe centrifughe, ventilatori, soffianti e compressori. Perdite di carico nei letti riempiti: equazione di Ergun. Fluidizzazione: generalità. Fondamenti della teoria relativa al processo di fluidizzazione.

Concentrazione. Generalità. Impianti di concentrazione a singolo e multiplo effetto. Metodi approssimati e rigorosi di calcolo. Metodi di calcolo mediante lo uso di un elaboratore elettronico. La condensazione negli impianti di concentrazione.

525

INDUSTRIA DEL PETROLIO E PETROLCHIMICA

Docente: Werther Neri prof. inc. stab.

Il corso si propone: a) fornire agli allievi la conoscenza delle principali tecnologie dell'industria petrolifera e un quadro generale dell'industria petrolchimica; b) fornire gli elementi necessari per lo sviluppo dei progetti e la realizzazione degli impianti chimici.

Programma

Parte I. - L'importanza del petrolio nella vita attuale. Cenni sulla storia del petrolio. Produzioni mondiali, europee ed italiane di olio minerale greggio e dei suoi derivati. Le fonti dell'olio minerale greggio. Caratteristiche dei vari mercati dei prodotti petroliferi. Costituenti del petrolio. Proprietà chimiche degli idrocarburi. Caratteristiche fisiche e metodo di analisi dei prodotti petroliferi. Classificazione dei prodotti petroliferi con particolare riguardo alle specificazioni doganali italiane (gas combustibili, gas di petrolio liquefatto, benzine, acqua ragia minerale, petrolio, oli da gas o gasoli, residui della lavorazione, lubrificanti, bitumi). Generalità sulla lavorazione dei grezzi e tipi di raffinerie. Schema generale di lavorazione in raffineria. Operazioni e processi fondamentali di raffineria. Desalificazione dei greggi: chimica ed elettrostatica. Distillazione atmosferica. Bilancio quantitativo e dimensionamento di una colonna di distillazione di grezzo. Distillazione sotto vuoto. Macchine e apparecchiature per produrre il vuoto. Trattamenti termici nell'industria petrolifera e petrolchimica: reforming termico, visbreaking, cracking termico, coking (delayed, fluid, contact). Reforming e desolforazione catalitica a bauxite. Reforming catalitici con riciclo di idrogeno (Platforming). Processo Udex; Cracking catalitici: a letto mobile (Airlift Thermofor Catalytic Cracking T.C.C.) ed a letto fluidificato (U.O.P. Fluid Catalytic Cracking della Universal Oil Products Co.). Stabilizzazione delle benzine e recupero degli idrocarburi leggeri (a-trattamento contemporaneo di gas di raffineria e di benzina greggia; b-trattamento di gas provenienti dalle diverse lavorazioni di raffineria o di gas naturali provenienti dai pozzi). Trattamenti idrogenanti. Isomerizzazione di idrocarburi, paraffinici. Alchilazione catalitica. Polimerizzazione catalitica.

Parte II. - Situazione attuale dell'industria petrolchimica e ragioni del suo rapido sviluppo. Caratteristiche dell'industria petrolchimica; materie prime; ubicazione degli stabilimenti; rapporti fra le industrie petrolifere, petrolchimiche e chimiche; ca-

ratteristiche fondamentali degli impianti con riferimento alla loro potenzialità ed agli investimenti richiesti.

Fattori economici di base per lo sviluppo dell'industria petrolchimica: costo degli impianti, costi di trasformazione, costo delle materie prime, costi delle energie e dei servizi, costi di lavoro, elementi per la valutazione del prezzo di vendita del prodotto. Processi petrolchimici basati sull'impiego del petrolio. Esami dei più importanti prodotti petrolchimici sia per quantità sia per valore. Utilizzazione dei sottoprodotti in un impianto petrolchimico e problemi connessi con l'economia generale di uno stabilimento.

Parte III. - Lo sviluppo del progetto tecnologico e del lavoro di progettazione impiantistica (pianificazione) di un impianto petrolifero e petrolchimico.

Norme ed indicazioni per la stesura dei disegni costruttivi degli apparecchi. Elementi e criteri per una razionale disposizione delle apparecchiature entro i limiti di campo. Lo sviluppo dei disegni esecutivi di assieme e montaggio degli impianti petroliferi e petrolchimici. Indicazione per l'esecuzione dei disegni edili, dei disegni di montaggio meccanico con particolare riguardo agli schizzi per la prefabbricazione delle tubazioni. Lo sviluppo dei disegni esecutivi di montaggio di un impianto petrolifero e petrolchimico per la parte strumentale. Selezione dei materiali e commissione lavori. Controllo dei disegni costruttivi e della costruzione delle apparecchiature. Ricevimento e collaudo dei materiali in arrivo. Verifica ed aggiornamento del preventivo di spesa. I lavori di montaggio degli impianti petroliferi e petrolchimici: organizzazione del cantiere, preparazione del terreno, lavori edili, erezione della struttura metallica, prefabbricazione delle tubazioni, posa in opera delle tubazioni interrate, montaggio delle apparecchiature, montaggio dei macchinari, montaggio delle tubazioni e dei relativi accessori, lavori elettrici, montaggio degli apparecchi di misura e controllo, lavori di allacciamento del nuovo impianto, collaudo degli apparecchi e delle tubazioni, coibentazioni, verniciature, contabilità lavori.

Testi consigliati

PASTONESI, AVANZI, MORPURGO, *Impianti petroliferi*, Ed. Mursia, Milano.
 NELSON, *Petroleum refinery engineering*, Ed. McGraw-Hill, New York.
 GIRELLI, *Petrolio - Grezzo - Raffinazione - Prodotti*, Ed. Tamburini, Milano.
 MERCIER, *Petrochemical industry and the possibilities of its establishment in the developing countries*, Ed. Institut français du petrole-Technip, Paris.
 NERI, *Progettazione e sviluppo degli impianti chimici*, Ed. Vallecchi, Firenze.

Propedeuticità consigliata: Impianti chimici.

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.

690

MECCANICA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURIDocente: **Bruno Poggi** prof. ord. (inc.)

(v. Corso di laurea in Ingegneria Mineraria).

2021

METALLURGIA E METALLOGRAFIADocente: **Giorgio Poli** prof. inc.

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-alogenoterapia: titanio, zirconio, uranio; la metallurgia elettrochimica: problemi generali; idroelettrometallurgia e elettrometallurgia in sali fusi; preparazione dell'alluminio; alluminio-terapia: 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.

731

MISURE E CONTROLLI NEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI

Docente: Gian Luigi Chierici prof. inc. stab.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria)

805

PREPARAZIONE DEI MINERALI

Docente: Sebastiano Pelizza prof. straord.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria)

814

PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA

Docente: Franco P. Foraboschi prof. ord.

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.

Programma

1 Introduzione.

a) - L'impianto chimico come sistema termodinamico: definizioni, ipotesi genera-

li, variabili, equazioni.

b) - Apparat discontinui, continui e semicontinui: considerazioni generali.

2 Equazioni integrali di bilancio.

a) - Bilancio di materia: varie forme; cambiamento della base di bilancio; introduzione delle diverse variabili di composizione; espressione del termine generativo in funzione delle velocità delle reazioni stechiometricamente indipendenti; applicazioni.

b) - Bilancio di quantità di moto: equazione; applicazioni.

c) - Bilancio di energia: varie forme; cambiamento della base di bilancio e delle unità di misura; equazioni semplificate; stati di riferimento per l'entalpia ed esplicitazione dell'effetto termico delle reazioni chimiche; applicazioni.

d) - Bilancio entropico: equazione; lavoro massimo; applicazioni.

e) - Bilanci di materia ed energia per i processi con riciclo: rappresentazione mediante grafi degli impianti chimici; numero di variabili indipendenti e specifica base; applicazioni.

3 Stadi di equilibrio.

a) - Modello di stadio di equilibrio; definizione; ipotesi generali; esempi.

b) - Singoli stadi: variabili; 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.

4 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.

5 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.

6 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.

Testi consigliati

- F.P. FORABOSCHI, *Principi di ingegneria chimica*, UTET.
 O.A. HOUGHEN, K.M. WATSON, R.R. RAGATZ, *Principi dei processi chimici*, Voll. I e II. Casa Editrice Ambrosiana.
 U. LELLI, *Il bilancio energetico*, Zanichelli.
 K. DENBIGH, *I principi dell'equilibrio chimico*, Casa Editrice Ambrosiana.
 J. PERRY, *Chemical Engineers Handbook*, McGraw Hill.
 D.R. COUGHANOWR, L.B. KOPPEL, *Process Systems Analysis and Control*, McGraw-Hill.

Propedeuticità consigliate: Chimica Fisica, Fisica Tecnica, Idraulica. E' comunque richiesta una buona conoscenza della termodinamica. In particolare è indispensabile conoscere e sapere usare i fondamentali diagrammi termodinamici (pressione-volume specifico, entalpia specifica-entropia specifica, temperatura-entropia specifica, diagrammi generalizzati in coordinate ridotte, per le sostanze pure; entalpia specifica-composizione, temperatura-composizione, y-x, per le miscele binarie; igrometrico, per le miscele gas-vapore; triangolari per i sistemi ternari) e le principali relazioni termodinamiche.

4641

PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II

Docente: Francesco Santarelli prof. inc.

Scopo del corso è quello di dare una visione unificante, nell'ambito della termomeccanica dei mezzi continui, dei processi fisici e chimici elementari, caratteristici delle situazioni di normale interesse per l'ingegnere chimico. Partendo dalle equazioni di conservazione di validità generale per i mezzi continui (leggi), attraverso l'individuazione delle modalità di comportamento di classi di materiali (equazioni costitutive), lo studente è posto in condizione di scrivere le equazioni con cui costruire il modello matematico di un dato fenomeno.

L'esame, per una vasta serie di casi, della soluzione di queste equazioni, even-

tualmente semplificate sulla base di considerazioni fisiche, fornisce poi strumenti per valutare un'ampia 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 (problemi di Leveque, Graetz, strato limite termico); convezione naturale termica; convezione mista. Scambio termico per irraggiamento.

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.

Elementi per la valutazione delle proprietà di trasporto molecolare.

Cenni di termodinamica dei processi irreversibili.

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 trascinarsi, relazioni per il calcolo del fattore d'attrito, calcolo 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, Torino, 1973.
 J.C. SLATTERY, *Momentum, Energy, and Mass Transfer in Continua*, McGraw Hill, N.Y. 1972.
 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.

Propedeuticità consigliata: Principi d'Ingegneria Chimica.

816

PRODUZIONE E TRASPORTO DEGLI IDROCARBURI

Docente: **Discoride Vitali** prof. inc. stab. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria).

1011

STRUMENTAZIONE CHIMICA E ANALISI STRUMENTALE

Docente: **Leonardo Marchetti** prof. straord. (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 (inteso come mezzo per la valutazione e la scelta di uno strumento di misura), ed i più importanti metodi di analisi strumentale.

Programma

La strumentazione nell'industria chimica. L'analisi strumentale. Misure e regolazioni. La misura. Unità di misura e sistemi di unità di misura. Metodi di misura. Strumenti di misura. La strumentazione di un impianto chimico: rappresentazione grafica della strumentazione. Errori di misura. Teoria degli errori. Inerzia di misura. Misure di pressione, temperatura, portata, livello, peso specifico, viscosità, umidità, indice di rifrazione, conducibilità termica, paramagnetismo. Trasduttori di pressione e di spostamento. Le cellule fotoelettriche. Cenni sull'analisi chimica generale. Conduttometria. Potenzimetria. Spettrofotometria di emissione e di assorbimento, u.v., visibile e i.r.. Colorimetria. Gas-cromatografia.

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.

1388

TECNOLOGIA DEI MATERIALI

Docente: Franco Sàndrolini prof. inc. stab.

Il corso si propone di fornire gli elementi della Scienza dei Materiali necessari per una corretta comprensione 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. 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. Diffusività costante e variabile. Esempi ed applicazioni. Effetto Kirkendall. Relazioni tra diffusività, mobilità, etc.. Diffusione nei materiali policristallini (metallici, ceramici e polimerici). Sinterizzazione e tecnologia 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. Considerazioni di progetto. 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. Esempi ed applicazioni.

Testi consigliati

J. WULFF (et al.), *Struttura e Proprietà dei Materiali*, Voll. 4, CEA MI. 1976.
A.G. GUY, *Introduction to Material Science*, Ed. McGraw-Hill, 1975.

Propedeuticità consigliate

Chimica Applicata, Chimica Fisica.

Esercitazioni ed esami

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.

2049

TECNOLOGIE GENERALI

Docente: **Vincenzo Dal Re** prof. inc.

Il corso si propone di fornire agli studenti le nozioni fondamentali sui materiali di più largo impiego nelle costruzioni di impianti nucleari e chimici e nelle costruzioni di impianti nucleari e chimici e nelle costruzioni meccaniche in generale, dal punto di vista delle caratteristiche di utilizzazione e delle modalità di lavorazione. Particolare riguardo viene tenuto per i materiali ferrosi e per i cicli di lavorazione fino al pezzo finito.

Programma

Prove tecnologiche: Trazione statica, resilienza, durezza, creep. *Siderurgia:* convertitori, colata in lingottiera, colata sotto vuoto. *Ghise. Fonderia:* modelli, sabbie, formatura, conchiglie, spinte metallostatiche. *Trattamenti termici:* punti critici degli acciai, diagrammi TTT, misure di temprabilità, trattamenti termici preliminari e finali, cementazione, nitrurazione. *Classificazione degli acciai. Saldature:* ad acetilene, ad arco, a filo continuo, MIG, MAG, TIG, Arcaton, ad arco sommerso, electrogas, electroslag, per resistenza elettrica; caratteristiche di un giunto saldato; calcolo delle saldature. *Controlli non distruttivi:* liquidi penetranti, metodo magnetico, ultrasuoni, raggi X e gamma. *Lavorazioni plastiche:* incrudimento e riassetto; fucinatura statica e dinamica con e senza stampo; laminazione; estrusione; trafilatura; imbutitura; piegatura delle lamiere; calandratura; sinterizza-

zione. *Lavorazioni per asportazione di trucioli*: formazione del truciolo, tipi di utensili, materie per utensili, principali macchine utensili, attrezzature porta-pezzi, esempi di cicli di lavorazione.

Testi consigliati

MICHELETTI, *Tecnologie generali*, Ed. Levrotto e Bella, Torino.

BARTOCCI-MARIANESCHI, *I metalli e l'acciaio*, Ed. Alterocca, Terni.

CAPELLO, *Fonderia*, Ed. Signorelli, Milano.

VALLINI, *La saldatura e i suoi problemi*.

FUNAIOLI, *Lezioni di macchine utensili*, Coop. Libr. Bologna.

Propedeuticità consigliata: Per comprendere le teorie relative alle lavorazioni plastiche è opportuno aver frequentato Scienza delle costruzioni.

Le esercitazioni comprendono principalmente visite di istruzione presso industrie locali: fonderie, trattamenti termici, lavorazioni plastiche a caldo, costruzioni di recipienti a pressione.

Esami: colloquio che, prendendo lo spunto da un problema pratico, tocca i principali argomenti del corso.

Tesi di laurea: procedimenti automatici di saldatura su grossi spessori. Prove su provini saldati. Meccanica della frattura.

4115

TEORIA DEI SISTEMI

Docente: Giovanni Marro prof. ord.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica).

2031

TEORIA E SVILUPPO DEI PROCESSI

Docente: Carlo Stramigioli prof. inc.

Il corso si propone lo studio degli elementi fondamentali riguardanti le valutazioni economiche, a livello ingegneristico, connesse con lo sviluppo di un processo chimico (stima dell'investimento, del costo del prodotto, della redditività dell'impianto) e di alcune tecniche di ottimizzazione d'impianto e di studio di grossi sistemi.

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; valutazione del costo dei singoli apparati.

4 *Stima del costo del prodotto*: componenti del costo; valutazioni dei singoli costi diretti, dei costi indiretti, dei costi fissi, dei costi generali; discussione sull'ammortamento.

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.

6 *Elementi di ottimizzazione*: considerazioni generali; massimo profitto; metodi diretti con funzioni obiettivo in una sola variabile; metodi diretti con funzioni obiettivo in più variabili; programmazione lineare; programmazione dinamica.

7 *Elementi di analisi dei sistemi*: tecniche di decomposizione e ordinamento di grossi sistemi; cenni sulla simulazione degli impianti chimici.

8 *Applicazioni ad impianti chimici*.

Testi consigliati

D.F. RUDD, C.C. WATSON, J.K. WILKINSON, *Introduction to Process Economics*. Wiley.

M.S. PETERS, K.D. TIMMERHAUS, *Plant design and economics for chemical engineers*. McGraw Hill.

Propedeuticità consigliata: Impianti Chimici.

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
- 490 Idraulica
- 890 Scienza delle costruzioni

v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile.

- 4125 Consolidamento dei terreni
- 2007 Geotecnica
- 1026 Tecnica delle costruzioni
- 2008 Tecnica delle fondazioni (sem.)

v. Corso di Laurea in Ingegneria Civile Edile

- 83 Calcolo elettronico
- 663 Macchine
- 1385 Meccanica applicata alle macchine

v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica.

54

ARTE MINERARIA

Docente: Dioscoride Vitali prof. inc. stab.

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 tracciammenti. 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.

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 MINERARIADocente: **Lamberto Pieri** prof. straordinario. (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.

464

GEOLOGIADocente: **Carlo Elmi** prof. incaricato. stab.

1) Generalità. Costituzione e struttura interna della Terra; la crosta terrestre; i processi petrogenetici. 2) I fenomeni magnetici. Plutonismo e plutoni; vulcanesimo; magmi e tipi strutturali della crosta. 3) I sedimenti. Origine, ciclo e classifi-

cazione 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.

482

GIACIMENTI MINERARI

Docente: **Fulvio Ciancabilla** prof. inc. stab.

Definizione di giacimento minerario. Classificazione dei giacimenti. Rassegna dei fattori determinanti le condizioni di sfruttamento delle mineralizzazioni. Giacimenti generali e speciali. Esame dei metodi di ricerca e di esplorazione dei giacimenti. Stima dei giacimenti: cubatura e tenori. Giacimento di origine magmatica. Distribuzione delle mineralizzazioni attorno alle masse intrusive. Giacimenti liquido magmatici. Giacimenti di smistamento allo stato liquido. Giacimenti di segregazione con o senza concentrazione. Giacimenti tardo liquido-magmatici. Giacimenti pegmatitici. Pegmatiti semplici e complesse. Giacimenti pneumatolitici. Giacimenti pirometasomatici. Giacimenti idrotermali. Origine e natura delle soluzioni idrotermali. Modalità di trasporto dei componenti ad opera delle soluzioni idrotermali e loro deposito. Morfologia dei corpi mineralizzati. Giacimenti filoniani, metasomatici, d'impregnazione. Fattori di controllo litologico, stratigrafico, geologico e magmatico sulla localizzazione delle mineralizzazioni nella crosta terrestre. Criteri per determinare le condizioni di temperatura e pressione di formazione delle mineralizzazioni. 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.

516

IMPIANTI MINERARI

Docente: Amos Paretini prof. inc. stab.

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 antigisutose. 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. *Eduzione delle acque.* Il regime idrologico del sotterraneo. Difesa attiva e passiva dalle acque. I mezzi di eduazione. 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.

690

MECCANICA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI

Docente: Bruno Poggi prof. ord. (inc.)

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 serba-

toio. 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. Richiami sulle leggi termodinamiche dei gas e dei liquidi. 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 a 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. L'iniezione di fluidi nei giacimenti di olio. Il mantenimento delle pressioni. Richiami sulla meccanica dei fluidi nei mezzi porosi permeabili. Formule per il calcolo delle portate dei pozzi di olio e di gas. Modelli analogici per lo studio di moti a geometria complessa. 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. Lo spiazzamento degli idrocarburi. Questioni relative alla stabilità delle superfici di separazione 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. Esercitazioni di calcolo e di laboratorio.

4114

MECCANICA DELLE ROCCEDocente: **Giovanni Brighenti** prof. straord. (inc.)

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 lor individuazione e caratterizzazione — Esame sintetico dei mezzi di rilevamento e delle teorie per lo studio degli ammassi rocciosi.

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 degli ammassi 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 delle costruzioni su roccia e colpi di tensione.

8 — Cenni sulla comminazione.

722

MINERALOGIA

Docente: Loris Morandi prof. inc.

Programma

Per gli studenti di Ingegneria Mineraria viene cooptato il Corso di Mineralogia per Scienze Geologiche che è propedeutico per la Petrografia, Giacimenti Minerari e per le discipline fondamentali di quel Corso di Laurea.

Si inizia con la *Cristallografia morfologica* che, partendo dalle definizioni di minerale, roccia, stato amorfo e stato cristallino, prende in esame alcune leggi (costanza degli angoli diedri, razionalità degli indici, coesistenza elementi di simmetria) e permette di inquadrare i minerali, sulla base della loro simmetria, in gruppi spaziali, classi, sistemi e gruppi. La *Cristallografia strutturale* tratta le particolarità della struttura cristallina intesa come impalcatura di ioni, atomi e/o molecole che si coordinano con precise regole geometriche e si attraggono con precise regole chimico-fisiche. Sono forniti molti esempi di reticoli cristallini. Vengono anche trattate le tecniche sperimentali per l'esame dei cristalli con i raggi X tendenti a scopi sia di tipo diagnostico che strutturistico. La *Cristallografia fisica* affronta nei dettagli le proprietà fisiche scalari e vettoriali dei minerali con parti-

colare riguardo alle proprietà ottiche, molto utili a scopo diagnostico.

La *Cristallografia chimica* tratta i fattori che regolano i fenomeni del polimorfismo e dell'isomorfismo dei minerali: l'argomento viene trattato con numerosi esempi e si collega strettamente con la *Mineralogia speciale* che prevede la trattazione sistematica dei principali aggruppamenti di minerali. La *genesì e giacitura* dei minerali costituisce un capitolo fondamentale nel quale, unitamente alla genesì eruttiva, sedimentaria e metamorfica, viene fornito un cenno alle paragenesi e ai tipi di rocce che si incontrano più di frequente nei tre ambienti genetici stessi.

Quest'ultima parte viene ampliata in sede di turni specifici di esercitazioni e si distacca dal regolare programma di Mineralogia per Sc. Geologiche. Le esercitazioni pratiche vengono effettuate in turni riservati a soli studenti di Ingegneria Mineraria per due/tre ore settimanali per tutta la durata del corso.

Testo consigliato:

PAOLO GALLITELLI, *Elementi di Mineralogia*, Ed. Nistri, Lischi.

731 MISURE E CONTROLLI NEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI

Docente: Gian Luigi Chierici prof. inc. stab.

Finalità del corso:

Fornire agli studenti conoscenze a carattere pratico-applicativo sui problemi di termodinamica applicata ai sistemi di idrocarburi naturali, nonché sui parametri di base dei giacimenti petroliferi e sulla loro applicazione alla previsione del comportamento dei giacimenti stessi.

Programma

Individuazione dei dati di base necessari per la previsione del comportamento dei giacimenti di idrocarburi, per lo studio di equilibri chimici ad alta pressione e per lo studio del flusso nei mezzi porosi.

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.

Studio delle rocce-serbatoio e dei mezzi porosi in genere. Misure di porosità, permeabilità, pressione capillare, permeabilità relativa, distribuzione del raggio dei pori e loro applicazioni a problemi di flusso mono- e polifasico.

Registrazioni continue in pozzo (logs): determinazione dello spessore del giacimento di petrolio o gas, della sua porosità e della saturazione in idrocarburi

mediante l'interpretazione di misure di resistività elettrica, radioattività spontanea e indotta, velocità del suono.

Precedenze consigliate: Fisica tecnica, Meccanica dei giacimenti.

Testi consigliati:

G.L. CHIERICI, *Comportamento volumetrico e di fase degli idrocarburi nei giacimenti*, Giuffrè Editore, Milano (1962).

Metodi e procedure per l'analisi delle carote, (traduzione della API Procedure RP 40 "Recommended Practice for Core Analysis Procedure").

G.L. CHIERICI, *Carotaggi elettrici, radioattivi e sonici*, Dispense per lezioni.

805

PREPARAZIONE DEI MINERALI

Docente: **Sebastiano Pelizza** 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^a, 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. 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: **Dioscoride Vitali** prof. inc. stab. (inc.)

Aspetti tecnici ed economici della produzione degli idrocarburi. Il completamento dei pozzi: completamento a foro scoperto ed a foro rivestito, prevenzione dell'ingresso delle sabbie, tubing, packer ed altre attrezzature. Completamenti singoli e multipli. La produzione dei fluidi di strato: pozzi ed erogazione spontanea, pompe ad astine, gas-lift, cenni su altri tipi di pompe. La manutenzione del pozzo: operazione di stimolazione per acidificazione e fratturazione, dissabbiamento, cementazione secondaria, ecc. Trattamenti in campo del gas: caratteristiche del gas naturale, gli idrati e la loro prevenzione, impianti di disidratazione, cenni sulla desolfurazione e sul degasolinaggio. Trattamento in campo dell'olio: caratteristiche dei greggi, impianti di stabilizzazione, emulsioni e loro trattamento, cenni sulla desalficazione. 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 econo-

mici. 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.

1019

TECNICA DEI SONDAGGI

Docente: **Giovanni Brighenti** prof. straord.

Generalità sulla perforazione.

Perforazione a percussione.

Perforazione a rotazione. Impianti rotary. Descrizione dell'impianto. Forza motrice. Albero di perforazione. Scalpelli. Circuito idraulico. Colonne di rivestimento. Apparecchiature di sicurezza. Perforazioni orientate.

Meccanica del taglio degli scalpelli.

Il fango di perforazione. Scopo del fango. Reologia dei fanghi di perforazione. Cenni sulla perforazione ad aria ed ad acqua.

Cenni sulla perforazione a turbina.

Perforazione a mare.

Perforazione a grande profondità.

Apparecchiature per sondaggi geognostici geomeccanici e minerari.

I sondaggi. Sondaggi petroliferi, sondaggi geognostici e geomeccanici. Tecniche per il prelievo di campioni rimaneggiati ed indisturbati. Misure e prove in pozzo.

1061

TOPOGRAFIA

Docente: **Lamberto Pieri** prof. straord.

Premessa. Superficie matematica della Terra. L'ellissoide internazionale e la gravità normale. Campo geodetico e campo topografico degli sviluppi di Puiseux-Weingarten. Rappresentazioni cartografiche: rappresentazione conforme di Gauss, rappresentazione di Cassini e proiezione naturale. Carte dell'Istituto Geografico Militare. Richiami di ottica. Distanziometri topografici. Goniometri. Livelli. Strumenti elettronici per misure di distanze: geodimetri e telluometri. Strumenti per rilievi in miniera. Teoria degli errori. Classificazione degli errori. Variabili aleatorie e loro funzioni di distribuzione. Concetto di peso. Teoria dei minimi quadrati. Osservazioni dirette, mediate e condizionate. Esempi. Rilievo planimetrico. Triangola-

zione, trilaterazione e compensazione delle misure. La triangolazione dell'Istituto Geografico Militare e del Catasto. Triangolazioni topografiche. Misure contemporanee di lati e di angoli e compensazione. Cenni di astronomia geodetica. Generalità. Misure di latitudine, longitudine ed azimut. I satelliti artificiali e loro utilizzazione topografica. Problemi di riattacco. Poligonali e celerimensura. Rilievo altimetrico. Rilievo in miniera. Cenni di fotogrammetria con particolare riguardo alle applicazioni minerarie.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA 2006

Programmi delle materie di insegnamento.

1352

ANALISI MATEMATICA I

Docente: **Carlo Ravaglia** 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 della teoria degli insiemi, numeri reali, numeri complessi, successioni, limiti, funzioni reali di una variabile reale: limiti, funzioni continue di una variabile reale, derivate delle funzioni reali di una variabile reale, teoremi fondamentali del calcolo differenziale, serie numeriche, teoria dell'integrazione per funzioni di una variabile, integrazione delle funzioni elementari, serie di funzioni, cenni sulle equazioni differenziali lineari.

Testi consigliati:

J.P. CECCONI e G. STAMPACCHIA, *Analisi matematica*, Vol. I.

Gli esami saranno preceduti da una prova scritta indicativa (non selettiva) della preparazione dello studente.

1356

ANALISI MATEMATICA II

Docente: **Ermanno Lanconelli** prof. straordinario.

Programma

- 1) Teoria elementare dell'interazione multipla.
- 2) Calcolo differenziale per funzioni scalari e vettoriali; integrale curvilineo e di superficie; teoremi di Green, Gauss e Stokes (in \mathbb{R}^2 ed in \mathbb{R}^3).
- 3) Serie di funzioni; serie di potenze; serie di Fourier.
- 4) Equazioni differenziali in \mathbb{R} . Problema di Cauchy. Problemi ai limiti.
- 5) Funzioni di variabile complessa; equazioni differenziali di tipo Fuchs.

L'esame è articolato in due parti:

Una prova scritta che consiste nella risoluzione di alcuni problemi sul tipo di quelli illustrati nei corsi di esercitazioni.

Una prova orale.

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.

83

CALCOLO ELETTRONICO

Docente: **Maurelio Boari** prof. inc. stab. (2° anno Elettronici)

Paolo Toth prof. inc. stab. (5° anno Elettronici).

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:

Tecniche di programmazione (strutturazione dei programmi); definizione di algoritmi; strutture di dati. Linguaggi di programmazione.

CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITIDocenti: **Giancarlo Corazza** prof. ord. (Elettronici A-K)**Carlo Giacomo Someda** prof. straordinario (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 e 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 – Elettrotecnica 1 – Complementi di matematica – Elettronica applicata 1.

Le tesi di laurea sono assegnate solo a studenti dell'indirizzo telecomunicazioni.

1361

CHIMICA

Docente: Flavio Zignani prof. inc. stab.

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.

123

CHIMICA FISICA DELLO STATO SOLIDO

Docente: Siro Pietra prof. inc. stab.

Il corso si propone di correlare proprietà e comportamento dei materiali alla loro struttura.

Programma

Dualismo corpuscolare-ondulatorio. Legge di De Broglie. Livelli energetici atomici. Orbitali molecolari. Orbitali ibridi. Cenno sugli orbitali "d". Livelli energetici molecolari. Equazione di Schrödinger. Orbitali simmetrici ed antisimmetrici. Bande nei solidi. Zone di Brillouin. Cenno sui reticoli cristallini. Struttura elettronica dei metalli. Fotoemissione. Termoemissione. Legge di Bragg. Corrente di emissione. Emissione secondaria. Indipendenza della loro energia da quella dei primari. Equazione di Whiddington. Curva del rendimento secondario. Emissione di campo. Effetto "tunnell". Effetto Schottky. Richiami di termodinamica. Entalpia. Capacità termica a p. cost.. Capacità termica a v. cost.. Entropia. Energia libera di Gibbs. Energia libera di Helmholtz. Lavoro idrostatico. Altri tipi di lavoro. Relazione tra C_p e C_v . Calore specifico nei solidi. Legge di Dulong e Petit. Ipotesi di Einstein. Ipotesi di Debye. Oscillatori armonici. Calore specifico elettronico. Conduttività termica. Rapporto di Wiedermann-Franz. Termoelettricità. Interpretazione degli effetti termoelettrici con la statistica di Fermi. Relazioni termodinamiche di Kelvin. Lavoro magnetico. Campo di Weiss. Domini magnetici. Antiferromagnetismo e ferrimagnetismo. Orbitali molecolari e proprietà magnetiche. Magnetone di Bohr. Superconduttori. Termodinamica dei superconduttori. Teoria BCS. Equazioni di London. Proprietà ottiche dei solidi base.

Testi consigliati:

R.R. ROSE, A.L. SHEPARD, J. WULFF, *Struttura e proprietà dei metalli*, vol. IV.

C. KITTEL, *Introduzione alla fisica dello stato solido*.

A.J. DEKKER, *Fisica dello stato solido*.

Esami, orali (quindicinali).

Sono consigliate le seguenti propedeuticità: Elettronica applicata I; Elettronica applicata II; Tecnologie dei semiconduttori; Fisica tecnica; Chimica.

COMPLEMENTI DI MATEMATICHEDocenti: **Franca Tesi** in Rossi prof. inc. stab. (Elettronici A-K)

Francesco Minardi prof. inc. stab. (Elettronici L-Z)

Finalità del corso

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

*Programma**Funzioni Analitiche*

Derivazione nel campo complesso. Condizioni di Cauchy-Riemann. Interpretazione geometrica dell'analiticità. Punti singolari isolati e no.

Integrazione nel campo complesso. Teorema di Cauchy. Formula integrale di Cauchy. Teorema di Morera.

Serie di Taylor. Zerri 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 f.a. secondo Weirstrass. Principio di conservazione delle proprietà analitiche.

Funzioni polidrome. Punti di diramazione e determinazioni. Superficie di Riemann. Teorema dell'indice logaritmico.

Serie di Fourier.

Approssimazione delle funzioni reali. Serie di Fourier. Condizioni di Dirichelet e teorema di convergenza. Spettro di fase e di ampiezza. Serie di Fourier in termini complessi. Integrali di Fourier. Trasformazioni integrali: trasformata di Fourier 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 equazioni differenziali lineari a coeff. cost. L.T. delle funzioni fondamentali. Teorema del prodotto integrale. Antitrasformazione delle funzioni razionali. Applicazione della L.T. allo studio di un sistema fisico.

Equazioni differenziali alle derivate parziali.

I ordine. Problema di Cauchy. Eq. diff. del I ordine lin. ed omogenee. Eq. complete. Eq. diff. del II. ordine a 2 var.: Il problema di Cauchy. Varietà caratteristiche e loro significato. Calcolo delle varietà caratteristiche e classific. delle eq. in base alle caratteristiche.

Forme canoniche. Integrazione con i metodi di separazione delle variabili e con la L.T. Risoluzione delle equazioni delle vibrazioni elastiche di propagazione del calore e di Laplace. Cenno alle eq. di Bessel.

Elementi di calcolo numerico.

Approssimazione: funzioni approssimanti. Polinomi di Legendre, di Laguerre, di Hermite, di Chebychev. Interpolazione: Pol. del min. quadrati di Lagrange. Formula di Newton.

Le equazioni differenziali alle derivate parziali: appros. delle deriv. con diff. fi-

nite. Adimensionalizzazione. Un metodo esplicito di soluzione. Il metodo implicito di Cranck-Nicolson. Eq. di tipo iperb. Propagazione delle scont. lungo le caratteristiche. Eq. ellit. di iterazione. Soluzione numerica delle equazioni delle vibrazioni elastiche, di propagazione del calore, di Laplace e confronto con la soluzione ottenuta con i metodi analitici.

Richiami di algebra delle matrici.

Spazi e sottospazi vettoriali: Base e dimensioni. Spazi vettoriali lineari. Dipendenza e indipendenza. Set ortonormali. Matrici: diagonale, scalare, singolare. Rango. Matrici speciali. Trasformazioni lineari.

Testi consigliati:

E. DE CASTRO, *Complementi di analisi matematica*, Zanichelli.

C.R. WYLIE, *Advanced engineering mathematics*, Mc Graw Hill.

R.W. HAMMING, *Numerical methods for scientists and engineers*, Mc Graw Hill.

M.R. SPIEGEL, *Advanced mathematics for engineers and scientists*, Schaum's Outline Series, Mc Graw Hill.

Gli esami constano di una prova scritta facoltativa e di una prova orale oltre agli appelli regolari, si effettuano appelli mensili.

Si consiglia la propedeuticità dell'esame di Calcolo elettronico.

192

COMUNICAZIONI ELETTRICHE

Docenti: **Leonardo Calandrino** prof. straordinario. (Elettronici A-K)

Gianni Immovilli prof. straordinario. (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

Generalità sulla trasmissione di informazioni mediante energia elettromagnetica.

Analisi dei segnali.

Analisi frequenziale dei segnali. Applicazione dell'analisi di Fourier allo studio dei sistemi fisici normali. Condizioni di non distorsione. Analisi dei segnali mediante "funzioni impulsive". Campionamento dei segnali. Natura dei segnali che attuano la trasmissione di suoni e di immagini. Segnali in codice. Cenni sopra alcuni importanti sistemi di trasmissione delle informazioni.

Elementi di teoria della modulazione.

Oscillazioni sinusoidali modulate in ampiezza, in fase, in frequenza. Risposta di una rete normale ad una oscillazione modulata in ampiezza ed in frequenza. Ri-

trado di fase e ritardo di gruppo. Regime quasi stazionario. Modulazione di impulsi. Modulazione in codice. Oscillazioni sinusoidali modulate da segnali digitali. Cenni su alcune importanti applicazioni delle oscillazioni sinusoidali modulate.

Descrizione statistica ed analisi armonica dei segnali aleatori. Il rumore di fondo.

I processi stocastici. Stazionarietà. Ergodicità. Spettro di una funzione aleatoria. Il teorema di Wiener e Chintchine. Il rumore di fondo. L'effetto Johnson. L'effetto Schottky. Ricezione di un segnale in presenza di rumore. Il rapporto segnale/rumore in modulazione di ampiezza, di fase e di frequenza. La cifra di rumore di un apparato. Il rumore di intermodulazione. Calcoli di massima di collegamenti.

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.

Testi consigliati:

E. DE CASTRO, *Fondamenti di Comunicazioni Elettriche*, Zanichelli, Bologna.

Esami orali.

Esercitazioni in aula ed in laboratorio.

Propedeuticità consigliate: Complementi di Matematiche, Elettrotecnica I, Elettronica Applicata I.

196

CONTROLLI AUTOMATICI

Docenti: Eugenio Sarti prof. straord. (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

Richiami dei fondamenti di teoria dei sistemi — Controllabilità e osservabilità, stabilità, realizzazione.

Analisi delle risposte modali — Dipendenza dagli autovalori. Indagine sulla posizione degli autovalori: metodo di Routh-Hurwitz; 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.

Metodi di analisi dei sistemi non lineari — Funzione descrittiva. Metodo di Popov.

Sintesi dei regolatori con retroazione dallo stato — Osservazione dello stato. Assegnazione degli autovalori. Introduzione ai regolatori ottimi.

Metodi di sintesi nel dominio delle frequenze — Reti correttrici e regolatori.

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: Teoria dei sistemi; Complementi di matematiche; Elettronica I; Calcolo elettronico.

4126

CONTROLLO DEI PROCESSI

Docente: **Claudio Bonivento** prof. straord.

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.

Parte IV: *Casi di Applicazione* (i casi riportati si riferiscono all'a.a. 1975-76).

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 minicalcolatore.

Testi consigliati:

- 1) Dispense redatte dal docente.
- 2) C.L. SMITH, *Digital Computer Process Control*, Intext. Educ.Publ., 1972.
- 3) P. EYKHOFF, *Sistem Identification*, John Wiley 1974.
- 4) K.J. ASTROM, *Introduction to Stochastic Control Theory*, Academic Press 1970.

Esami:

1) Gli appelli hanno praticamente frequenza settimanale. Lo svolgimento della prova 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).

2) Le esercitazioni sono usualmente svolte in aula come parte integrante delle lezioni. In particolare un nucleo di ore è volto all'illustrazione di un package didattico utilizzabile per la soluzione dei principali algoritmi di identificazione e controllo presentati. Gli studenti possono utilizzare tale package al terminale della Facoltà.

3) E' consigliabile avere già nozioni di Controlli Automatici, Reti Logiche e Calcolatori Elettronici, Teoria dei Sistemi e la conoscenza del linguaggio FORTRAN.

Indirizzo delle tesi:

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

DISEGNODocenti: **Fulvio Terragni** prof. inc. (Elettronici A-K)**Piero Pelloni** prof. inc. (Elettronici 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.

Inoltre si illustrano i metodi di risoluzione grafica di problemi analitici e la rappresentazione grafica di funzioni qualsiasi.

Programma

Strumenti per il disegno. Linee e scritturazioni unificate. Costruzioni geometriche fondamentali. Il metodo delle proiezioni ortogonali. Intersezioni e sezioni piane. Compenetrazione di solidi. Assonometrie. Disposizione delle viste e norme di rappresentazione. Le sezioni nel disegno tecnico. Norme e convenzioni di quotatura. Criteri di quotatura. Cenni di tecnologie. Classificazione dei materiali. Lavorazioni meccaniche. Filettature. Elementi filettati, collegamenti con viti. Collegamenti fissi. Collegamenti per alberi e mozzi. Cenni di trasmissione del moto rotatorio. Estrazione di particolari e rappresentazione di complessivi. Tolleranze di lavorazione. Rugosità. Cuscinetti radenti e volventi. Integrazione e derivazione grafica, risoluzione di equazioni per via grafica.

Testi consigliati:

1) Appunti redatti dai docenti.

2) E. SOBRERO, *Corso di disegno*, Pitagora Ed. Bologna.

3) MANFE', POZZA, SCARATO, *Disegno meccanico*, Principato Editore, Milano.

L'esame è costituito da una prova grafica e da una prova orale a carattere integrativo. La prova grafica consiste nella esecuzione di uno schizzo obbligatorio per tutti. Gli studenti che non hanno svolto, durante le esercitazioni, un numero minimo di elaborati, devono svolgere una ulteriore prova grafica.

251

ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (per Elettrotecnici, Chimici, Elettronici)Docente: **Dino Zanobetti** prof. ord. (inc.)

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica)

4132

ELEMENTI DI ANALISI FUNZIONALEDocente: **Marco Tibaldi** prof. inc.

Il corso si propone di fornire un panorama sufficientemente dettagliato dei metodi che permettono di risolvere problemi di programmazione matematica (cioè di ottimizzazione statica), sia lineari che non lineari, sia con vincoli che senza vincoli.

Programma

Classificazione dei problemi di ottimizzazione.
 Risoluzione analitica di problemi di piccole dimensioni.
 Metodi numerici per la soluzione di problemi lineari.
 Metodi numerici per la soluzione di problemi non lineari.
 Applicazioni.

Testi consigliati:

M. TIBALDI, *Tecniche di programmazione non lineare*, Pitagora, Bologna.

Lo svolgimento dell'esame consiste in una prova orale. Appelli settimanali.
 Le esercitazioni vengono svolte in serie con le lezioni.
 Propedeuticità consigliate: Calcolo elettronico.

Indirizzo tesi:

Teorico: sviluppo e ricerca di nuovi metodi numerici per la risoluzione di problemi di ottimizzazione.

Applicativo: messa a punto di codici fortran per la realizzazione di metodi numerici; risoluzione di problemi pratici.

2438

ELETTRONICA APPLICATA IDocenti: **Sergio Graffi** prof. straordinario (Elettronici A-K)**Pier Ugo Calzolari** prof. straordinario (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 prescindano 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 princi-

pali 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, *Electronics Principles-Physics, Models, and Circuits*, Ed. Wiley.

Propedeuticità consigliate:

Oltre ai corsi del biennio sono propedeutici i corsi di Complementi di Matematiche e di Elettrotecnica I.

Esercizioni ed esami:

Le esercitazioni in orario si svolgono in aula, però al IV anno è disponibile un corso di esercitazioni di laboratorio con frequenza non obbligatoria.

L'esame è composto da una prova scritta (2 ore) con esclusione dall'orale, e da una prova orale.

2439

ELETTRONICA APPLICATA II

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 "Elettronica Quantistica" e di "Microelettronica" (attuale "Tecnologie dei semiconduttori") 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 dei microcircuiti e dei dispositivi in genere.

Programma

1) Elementi di Ottica elettronica. Oscillografi a raggi catodici e spettrografi di massa. Effetti di carica spaziale. Cenni sui poliodi ad alto vuoto e sui tubi per microonde.

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 a lacune nei semiconduttori: 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); brevissimi cenni su altri dispositivi e semiconduttori.

Testi consigliati:

E. DE CASTRO, *Fisica elettronica ed elementi di teoria dei dispositivi*, UTET.

In 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.

2037

ELETTRONICA INDUSTRIALE

Docente: **Lodovico Ambrosini** prof. inc. stab.

Il corso fornisce una descrizione dei componenti elettronici e dei circuiti in cui essi trovano impiego, con particolare riferimento alle realizzazioni a carattere industriale, consentendo di conoscere alcune apparecchiature usate nella pratica ed i criteri di scelta dei componenti in base alla particolare applicazione e alle caratteristiche ed altre informazioni fornite dal costruttore.

Programma

Fenomeno della emissione fotoelettrica. Cellule fotoemissive a vuoto e a gas. Fotomoltiplicatori. Relè fotoelettrici a corrente continua a controllo diretto e a controllo inverso. Effetto fotoconduttivo. Cellule fotoconduttive, fotodiodi, doppi fotodiodi. Effetto fotovoltaico, cellule fotovoltaiche, celle solari. Esempi di impiego di componenti fotoelettrici (tra cui l'impiego di fotodiodi nell'unità di lettura di banda perforata di un calcolatore elettronico).

Circuiti raddrizzatori monofasi ed alimentatori con celle filtranti ad ingresso capacitivo e ad ingresso induttivo. Raddrizzatori trifase. Fenomeno della conduzione nei tubi a gas. Diodi a gas a catodo freddo e a catodo caldo. Thyratrons: sistemi di controllo dell'angolo di circolazione della corrente anodica. Ignitrons. Interruttori ad Ignitrons comandati e controllati in c.a. Diodi controllati al silicio (S.C.R. o Thyristors) e loro costituzione.

Caratteristiche degli SCR in assenza e in presenza di corrente di gate. Caratteristiche di ingresso e fenomeni di commutazione. Confronto tra Thyratrons e SCR.

Transistori unigiunzione (UJT) costituzione e loro principali utilizzazioni.

Sistemi di accensione degli SCR. Sistemi di protezione degli SCR da sovraccarichi. Temperatura media ed istantanea delle giunzioni di un SCR. Circuiti inverter. Diodi Zener e loro utilizzazione negli stabilizzatori di tensione.

Riscaldamento industriale ad alta frequenza di materiali conduttori ed isolanti. Analisi e progetto di un amplificatore di potenza in classe C.

Testi consigliati:

MILLMAN-HALKIAS, *Electronic Devices and Circuits*, Mc. Graw Hill, New York, 1967.

BEN ZEINES, *Principles of Industrial Electronics*, Mc Graw Hill, New York, 1966.

Gli esami consistono in una prova orale.

E' consigliato come propedeutico lo studio delle materie di Elettronica generale, Elettronica applicata ed Elettrotecnica.

2034

ELETTRONICA QUANTISTICA

Docente: Giorgio Baccarani prof. inc. stab.

Il Corso è concepito come un approfondimento di "Elettronica Applicata II" per la parte che riguarda la teoria dei dispositivi a semiconduttori, mentre sviluppa ex novo la teoria dei dispositivi optoelettronici. Esso ha carattere essenzialmente fisico ed il suo svolgimento è strettamente coordinato con quello di "Elettronica Applicata II", che gli è propedeutico.

Programma

I - Complementi di Fisica elettronica

a) Richiami sui metodi generali della Meccanica Quantistica. Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo. La regola d'oro. Teoria degli urti e formula di Born. Assorbimento, emissione spontanea ed emissione stimolata di radiazione. Gli amplificatori molecolari: MASER e LASER.

b) Geometria dei reticoli cristallini: reticolo reciproco e zone di Brillouin. L'approssimazione adiabatica. Vibrazioni reticolari. Stati elettronici nei monocristalli. Interazione elettrone-reticolo, concetto di fonone. Fononi acustici ed ottici.

c) Teoria del trasporto nei cristalli: teorema della massa efficace. Struttura a bande dei principali semiconduttori (Ge, Si, GaAs). Calcolo dei livelli di impurezze. Calcolo del livello di Fermi in un semiconduttore drogato. Equazione di Boltzmann, equazioni di continuità e loro applicazioni elementari. Analisi dell'effetto Hall. Studio del processo di diffusione dei portatori di carica.

II — *Complementi di teoria dei dispositivi a semiconduttori*

a) Richiami sul modello matematico della teoria dei dispositivi. Fenomeni di generazione-ricombinazione: statistica di Shockley-Read. Ricombinazioni superficiali. Effetti indotti dai processi G-R nella regione di carica spaziale. La giunzione p-n in condizioni dinamiche e con grandi segnali. Moltiplicazione a valanga e "breakdown". Effetto tunnel. Cenni sui diodi Zener e sui diodi ad effetto tunnel. Transistore bipolare a base non uniforme. Teoria delle giunzioni metallo-semiconduttore. Diodi e transistori a barriera Schottky. Effetto Gunn e diodi ad effetto Gunn. Teoria del condensatore e del transistore MOS. Cenni sui dispositivi a trasferimento di carica (CCD).

b) Diodi emettitori di luce (LED) e display a semiconduttori. Elementi di dinamica dei Laser. Laser a semiconduttore. Celle solari. Fotorivelatori. Brevi cenni sui fenomeni ottici non lineari nei cristalli e sulle categorie di dispositivi che ne derivano. Brevi cenni sui display a cristalli liquidi.

Testi consigliati:

E. DE CASTRO, *Fisica elettronica ed elementi di Teoria dei dispositivi*, UTET.

Inoltre: appunti informali redatti a cura del docente.

Esame orale.

Propedeuticità: Elettronica Applicata II.

277

ELETTROTECNICA I

Docente: **Filippo Ciampolini** prof. ord.

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 ma-

gnetica, 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 interessi magnetica-forza: fra le armature di un condensatore, in un elettromagnete, ecc.) *Correnti alternate* (definizioni fondamentali, metodo simbolico, leggi simboliche di Ohm e di Kirckoff, 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).

279

ELETTROTECNICA II

Docente: **Filippo Ciampolini** prof. ord. (inc.)

Il corso ha carattere essenzialmente formativo, in quanto riguarda la teoria del funzionamento delle macchine elettriche fondamentali (trasformatori, macchine asincrone e sincrone, macchine a c.c.); nella trattazione, tuttavia, si dedica una parte non trascurabile del tempo ad illustrare anche questioni di considerevole interesse tecnico.

Programma

Introduzione allo studio delle macchine elettriche (ipotesi fondamentali, equazioni fondamentali, equazioni interne ed esterne, la presenza del ferro). Trasformatori (equazioni interne, equazioni esterne, rete equivalente, funzionamento a vuoto e in c.c., applicazioni varie). Campo magnetico rotante (nozioni costruttive sulle m.e. rotanti in c.a., campo stazionario al traferro prodotto dalla corrente di una fase, campi "visti" da osservatori, campo magnetico rotante "G. Ferraris", f.e.m. indotta in una fase da un campo magnetico rotante, reattanza al traferro, coppia fra avvolgimenti che interagiscono tramite campi rotanti). Macchine asincrone (nozioni costruttive, equazioni interne, coppia, equazioni esterne, rete equivalente, curve caratteristiche, vari tipi di funzionamento (motore-generatore-freno) motori a semplice e doppia gabbia, considerazioni tecniche sul funzionamento). Macchine Sincrone (nozioni costruttive, equazioni interne, coppia, equazioni esterne, curve caratteristiche, funzionamento a tensione e frequenza costanti, parallelo delle macchine sincrone). Macchine a C.C.

(nozioni costruttive, f.e.m. indotta in una "via interna", reazione di armatura, coppia, equazioni interne, equazioni esterne-dinamo autoeccitate, curve caratteristiche delle dinamo, motori in c.c. con eccitazione in derivazione e in serie, curve caratteristiche, commutazione, questioni tecniche riguardanti il funzionamento delle generatrici e dei motori). Macchine speciali (*motore asincrono monofase: e*-*quazioni, rete equivalente, motore monofase a condensatore, motore a polo scemato, motore bifase: equazioni per tutti i tipi di motori considerati).*

Testi consigliati:

F. CIAMPOLINI, *Elettrotecnica generale*, ed. Pitagora, integrato con una dispensa di appunti che estende il programma di circa il 20 %, soprattutto per quanto riguarda lo studio delle macchine elettriche speciali.

E' consigliabile la propedeuticit  di "Elettrotecnica I".

Gli esami si svolgono a scelta dello studente, o nella forma tradizionale orale, ovvero con una prova scritta integrata da un esame orale ridotto.

1369

FISICA I

Docenti: Gianni Vannini prof. inc. stab. (Elettronici A-K)

Antonio Bertin prof. inc. (Elettronici L-Z)

Il corso si propone di dare agli studenti quella preparazione di base che permetta loro di capire le metodologie e le finalit  della fisica sperimentale. Le nozioni impartite non contengono tecnicismi complicati, ma mirano a dare un quadro il pi  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 — Applicazioni — 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:

ALONSO-FYNN, *Fisica per l'Università*, vol. 2°.

Sono disponibili anche dispense dell'intero corso.

Per lo studio di argomenti speciali i testi saranno consigliati volta per volta.

Per sostenere l'esame è necessario avere superato l'esame di Fisica I.

430

FISICA TECNICA

Docente: Sandro Salvigni prof. straord.

Nel Corso si studiano mettendone in luce gli aspetti energetici, le principali trasformazioni termodinamiche, anche non convenzionali, fra le diverse forme di energia (termica, meccanica, elettrica). Si forniscono inoltre 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. Il primo e secondo principio della termodinamica per sistemi chiusi – grandezze termodinamiche – criteri di stabilità. Effetti termoelettrici: effetto Seebeck, Peltier, Thomson, Joule e Fourier e relazioni di legame esistenti. Diagrammi termodinamici e proprietà termodinamiche dei liquidi, dei vapori, e dei gas perfetti e reali. 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 – Trattazione matematica – Grandezze acustiche. *Termocinetica*: La legge di Fourier – L'equazione di Fourier – Conduzione stazionaria – Conduzione in mezzi anisotropi: cenni – Analogia Elettrica – Proprietà termofisiche – La convenzione: generalità – Equazioni fondamentali del moto non isoterma – Convenzione formata in regime laminare – Analisi dimensionale – Similitudine – Strato limite termico – Convenzione forzata: casi particolari – Convenzione naturale o mista: casi particolari – L'irraggiamento: generalità. – Scambio di energia tra superficie infinite e finite – Contemporanea presenza di diverse modalità di scambio: generalità – Convenzione e irraggiamento – Coeff. globale di scambio termico.

Testi consigliati:

A. COCCHI, *Termofisica per ingegneri*, ed. Petroni.

AUTORI DIVERSI, *Esercizi di Fisica Tecnica*, Vol. 1, 2, 4, 6, ed. Petroni.

AUTORI DIVERSI, *Esercizi di Fisica Tecnica*, Vol. I e II, Ed. Petroni.

Fotocopie integrative disponibili presso l'Istituto di Fisica Tecnica.

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

Dare un aiuto a chi intende studiare la 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: le 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. Nozioni sugli spazi vett. astratti e sull'algebra di Boole.

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 a 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.

Superficie: 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^a edizione, CEDAM, Padova.

MARIO VILLA, *Elementi di algebra*, Patron, Bologna.

MARIO VILLA, *Esercizi di Geometria*, per gli studenti dei corsi di laurea in fisica ed ingegneria, Patron, Bologna.

Nelle prove d'esame, distribuite in sei appelli, ogni candidato dovrà affrontare cinque argomenti riguardanti teoria ed esercizi da svolgere o mediante prova scritta con eventuale colloquio integrativo, o mediante interrogazione diretta.

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: Giacomo Bucci 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.

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.

Uno pseudo-ALGOL: statement, statement composto, statement ripetitivi e condizionali. Il salto. La struttura a blocchi. La gestione delle aree dati. Il passaggio dei parametri. Pure procedure e aree di attivazione.

Struttura dei programmi. La 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.

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 Orali. Si richiede, nel corso di un esame, 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. inc. stab.

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 aspirazione 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, a vapore a due fluidi e 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 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 consigliate: Fisica I e 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.

Realizzazione di catene di misura con trasduzione elettrica per la misura di grandezze meccaniche (torsionometro per la misura della coppia, tachimetro a cellula fotoelettrica per la misura della velocità angolare di alberi in rotazione, etc...).

1381

MECCANICA RAZIONALE

Docente: Pier Paolo Abbati Marescotti

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

1 - *Richiami sui concetti fondamentali della dinamica.*

Campi di forza, lavoro, potenziale. Equazioni del moto, integrali primi.

2 - *Dinamica dei sistemi (schema newtoniano).*

Teoremi fondamentali. Sistemi vincolati: principi dei lavori virtuali e di D'Alembert. Applicazione: meccanica dei sistemi di punti e di corpi rigidi (premettendo la geometria delle masse).

3 - *Dinamica dei sistemi (schema lagrangiano).*

Coordinate generalizzate, spazio delle configurazioni. Equazioni di Lagrange. Funzione di dissipazione. Variabili canoniche, spazio delle fasi. Equazioni di Hamilton.

4 - *Stabilità e oscillazioni.*

Oscillazioni lineari, libere e forzate. Stabilità dell'equilibrio. Criteri di Dirichlet e Ljapunov. Linearizzazione, piccole oscillazioni. Stabilità del movimento. Applica-

zioni ai sistemi meccanici, elettrici ed elettromeccanici.

Testi consigliati:

AGOSTINELLI-PIGNEDOLI, *Meccanica Razionale*, Zanichelli.

GRAFFI, *Lezioni di Meccanica Razionale*, Petron.

Eventuali altre indicazioni bibliografiche saranno date durante il corso.

L'esame è costituito di una prova scritta ed una orale.

Il corso è svolto unitamente a quattro ore settimanali di esercitazioni, che ne costituiscono parte integrale.

Propedeuticità consigliate: Analisi matematica I e II, Geometria, Fisica I e II.

2004

METODI DI OSSERVAZIONE E MISURA

Docente: Gian Paolo Dore prof. ord.

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 procedimenti 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 Bayen, 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 χ^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.

Si ritengono propedeutici i corsi di Analisi Matematica I e II e di Fisica I.

1386

MISURE ELETTRICHE

Docenti: **Gian Paolo Dore** prof. ord. (1° ciclo)

Mario Gasparini prof. inc. stab. (2° ciclo)

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 già 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.

Propedeuticità consigliate.

Si ritengono *necessariamente* propedeutici i corsi di: Elettrotecnica I e Elettrotecnica Applicata I.

Si consiglia agli studenti che non hanno già qualche precedente esperienza di laboratorio la frequenza alle esercitazioni facoltative organizzate dall'Istituto di Elettrotecnica.

877

RADIOTECNICADocente: **Francesco Valdoni** prof. straord.

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.

2041

RETI LOGICHE E CALCOLATORI ELETTRONICIDocenti: **Giovanni Neri** prof. inc. (1° ciclo)**Roberto Laschi** prof. inc. stab. (2° ciclo)*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.

FALDELLA, LASCHI, NERI, *Esercizi di reti logiche*, Cooperativa Libreria Universitaria.

E' prevista un'unica prova scritta, facoltativa, al termine del corso intensivo. Per chi accetta il voto della prova scritta è obbligatoria una successiva prova orale a carattere integrativo. Per tutti gli altri è obbligatoria una prova orale su tutti gli argomenti del corso. 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 Applic. I, Teoria dei Sistemi.

Indirizzo delle tesi: Tecniche di progettazione e campi di applicazione dei calcolatori elettronici.

890

SCIENZA DELLE COSTRUZIONIDocente: **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. 1°, Bologna, Zanichelli.

Gli esami constano attualmente di una sola prova orale.

Indirizzo delle tesi: Essenzialmente problemi connessi con il calcolo automatico delle strutture.

3980

SISTEMI PER L'ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONEDocente: **Remo Rossi** prof. straord.

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

Il programma del corso si articola in due parti:

A) Sistemi di calcolo; B) Sistemi operativi.

A) - 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.

B) Sistemi operativi.

7. - *La gestione di un calcolatore.* Elementi fondamentali di sistemi in: multiprogrammazione, time-sharing, tempo reale.

8. - *Processi concorrenti.*

8.1 - Processo; 8.2 - Concorrenza nei sistemi hardware e software; 8.3 - Mutue esclusioni e sincronizzazione; 8.4 - Deadlock.

9. - *Elementi sui Sistemi Operativi.*

9.1 - Il problema della gestione delle risorse; 9.2 - Tecniche di gestione della memoria (reale e virtuale); 9.3 - La gestione dei job; 9.4. - La gestione dei dispositivi; 9.5 - La gestione delle informazioni.

Testi consigliati:

Nessuno.

Gli esami si articolano in una prova scritta ed una orale.

Il corso è integrato da 2 ore settimanali di esercitazioni.

Si ritiene indispensabile avere superato l'esame di Reti logiche e calcolatori Elettronici.

2038

STATISTICA APPLICATA

Docente: Eugenio Faldella prof. inc.

Il corso rappresenta una naturale prosecuzione del corso di "Metodi di osservazione e misure", proponendosi di fornire le basi per l'impostazione e lo studio di modelli stocastici relativi al comportamento di un generico sistema fisico.

Programma

Richiami sulla teoria del calcolo delle probabilità. Variabili aleatorie. Distribuzioni di probabilità discrete e continue. Parametri fondamentali di una distribuzione. Funzioni di variabili aleatorie e distribuzioni pluridimensionali.

Processi stocastici a parametro discreto. Catene markoffiane. Processi stocastici a parametro continuo. Processo di Poisson. Processo di Wiener-Levy. Processi di ingressi ed uscite. Processi markoffiani a parametro continuo.

Richiami sui procedimenti inferenziali. Verifica delle ipotesi. Teoria delle decisioni.

Correlazione. Regressione.

Testi consigliati

Dispense del corso

- A. PAPOULIS, *Probabilità, variabili aleatorie e processi stocastici*, Ed. Boringhieri.
L. DABONI, *Calcolo delle probabilità ed elementi di statistica*, Ed. UTET.

L'esame consiste in una prova orale.

Il corso prevede delle esercitazioni nelle quali vengono sviluppati ed approfonditi gli argomenti di teoria attraverso esempi ed applicazioni tipiche di pratico interesse, eventualmente con l'utilizzazione di un elaboratore elettronico.

Si ritengono indispensabili le nozioni fondamentali del corso di "Metodi di osservazione e misure".

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

Il sistema di misura: considerazioni generali e sua caratteristica statica e dinamica. Trasduttori resistivi di temperatura, velocità e pressione. Trasduttori piezoelettrici (flussimetri ad ultrasuoni). Trasduttori fotoelettrici (fotometri, ossimetri, peltismografi). Trasduttori elettrochimici. Elettrodi superficiali e microelettrodi. Sistemi di registrazione. Sistemi di misura integrati con minicalcolatore. Elaborazione analogica e digitale di segnali biologici. Il rene artificiale. Protesi per arto superiore.

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 consigliata: Tutti i corsi del 3° e 4° anno, fatta eccezione per Elettrotecnica II, Elettronica applicata II, Campi elettromagnetici e circuiti.

4155

TECNICA DEGLI IMPULSI

Docente: **Giorgio Corazza** prof. inc.

Il Corso si propone lo studio dei circuiti elettronici digitali. Rappresenta la naturale prosecuzione di Elettronica I e la base per tutti i corsi dove si studiano applicazioni dei circuiti digitali stessi.

Programma

Caratteristiche del diodo a giunzione e sue applicazioni nei circuiti per impulsi. Caratteristiche dei transistori bipolari: il transistoro come interruttore comandato. Circuiti campionatori. Bipoli a resistenza negativa ottenuti mediante amplificatori connessi in retroazione. Circuiti a scatto: studio dei multivibratori bistabili, monostabili e astabili. Caratteristiche dei transistori ad effetto di campo FET e MOS-FET e loro applicazioni nei circuiti a scatto. Transistori di commutazione nei diodi e nei transistori. Alcune applicazioni: interruttori a chiusura comandata (SCR), generatori di tensioni a "rampa" ed "assi tempi", circuiti a soglia e comparatori, "Trigger di Schmitt". Circuiti integrati.

Circuiti logici in tecnologia bipolare (RTL, DTL, TTL, ECL, I²L) ed in tecnologia MOS. Memorie RAM, ROM, PROM, EAROM. Problemi della integrazione di circuiti logici.

Testi consigliati

Dispense del corso scritte dal Prof. E. De Castro e dall'Ing. G. Corazza. (In preparazione).

Esami prevalentemente orali. Nell'anno 1975-76 è stata offerta in via sperimentale la possibilità di sostenere a metà corso un colloquio sulla prima metà del programma. L'esperimento ha dato ottimi risultati e, se possibile, verrà proseguito nei prossimi anni.

Per seguire con profitto il corso si ritiene indispensabile aver frequentato Elettronica applicata I e si consiglia la frequenza di Elettronica applicata II.

2032

TECNICA DELLE MICROONDE

Docente: **Gabriele Falciasecca** prof. inc. stab.

Il corso si propone di illustrare alcune delle parti fondamentali di un sistema di comunicazione a frequenza elevata e di introdurre i fondamenti teorici e le tecniche di base utili per la comprensione e il progetto della medesima. Particolare attenzione è volta allo studio della propagazione guidata perchè essa è non solo alla base dei circuiti utilizzati negli apparati terminali, ma può costituire, anche per grandi distanze, il mezzo trasmissivo stesso.

Programma

Propagazione guidata - Fondamenti della teoria della propagazione nelle strutture cilindriche. Metodo generale per la determinazione di un insieme completo di soluzioni nel caso di guide d'onda a parete metallica ideale. Calcolo dell'attenuazione introdotta dalla conducibilità non infinita delle pareti e dalle perdite del dielettrico. Effetto delle irregolarità di sezione sulla propagazione. Guide d'onda utilizzate nei sistemi di comunicazione; la guida rettangolare e la guida circolare. Ceppi su un sistema di comunicazione utilizzante la guida circolare come mezzo trasmissivo. Caratteristiche fondamentali della propagazione in guide dielettriche. Un esempio di propagazione in guida dielettrica: la lastra indefinitamente estesa. Fibre ottiche: lineamenti generali di un sistema di comunicazioni in fibra ottica e stato dell'arte. Studio delle strutture periodiche attraverso l'analisi elettromagnetica e le approssimazioni circuitali equivalenti.

Cavità risonanti - Cavità risonanti ottenute a partire da spezzoni di guida di onda: teoria di base e utilizzazione nei circuiti a microonde.

Propagazione nei mezzi anisotropi - Esempi di propagazione nel plasma polarizzato da campo magnetico. Mezzi girotropici e giromagnetici. Utilizzazione dei mezzi anisotropi per la realizzazione di circuiti non reciproci.

Teoremi generali - Teorema di reciprocità e teorema di Fuster.

Giunzioni passive e microonde - Caratterizzazione delle giunzioni a n-porte

attraverso la loro matrice. Teoria e particolarità tecnica delle giunzioni passive a due, tre, quattro porte utilizzate nei sistemi a microonde.

Generatore e sottosistemi attivi - Utilizzazione dei diodi a semiconduttore più adatti per le alte frequenze. Relazioni generali sugli amplificatori e convertitori parametrici: esemplificazioni circuitali. Cenni sul funzionamento del M.A.S.E.R. e del L.A.S.E.R.. Amplificatore T.P.O. e oscillatore B.W.O..

Testi consigliati

C.G. SOMEDA, *Onde elettromagnetiche guidate*, Pitagora Editrice, Bologna.

G.C. CORAZZA, A. MANIMPIERI, C. MONTEBELLO, *Circuiti a microonde*, Ed. Patron, Bologna.

L'esame consiste in una prova orale. Il corso è accompagnato da una serie di esercitazioni il cui scopo è di insistere sui punti salienti del programma, giungere ad alcune esemplificazioni pratiche e progetti, illustrare i metodi di misura più comunemente impiegati. Sono essenziali, per la comprensione delle lezioni, le nozioni di base impartite nei corsi di "Comunicazioni elettriche", "Campielettromagnetici e circuiti", "Elettronica generale".

Gli argomenti della tesi di laurea sono per lo più indirizzati all'analisi e allo sviluppo di componenti e sottosistemi per sistemi di comunicazioni a frequenze elevate.

4154

TECNICHE DI CONTROLLO

Docente: **Gianni Bertoni** prof. straord.

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 per-

turbazioni.

4 - Applicazioni del controllo ottimo in retroazione; il luogo quadratico dell'eradic; 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.*

Esercitazioni e propedeuticità consigliate:

- a) 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).
- b) le esercitazioni sono inserite senza soluzione di continuità durante lo svolgimento della parte teorica a cui si riferiscono;
- c) è consigliabile avere già una buona conoscenza di Teoria dei Sistemi e Controlli Automatici.

2039

TECNOLOGIE DEI SEMICONDUTTORI

Docente: **Giovanni Soncini** prof. inc. stab.

Il Corso presuppone la sola propedeuticità di "Elettronica Applicata II", 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. Il suo contenuto è il seguente:

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. Accrescimento di cristalli. Ossidazione termica del silicio. 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 in

equilibrio, in interdizione, in conduzione. Giunzioni diffuse. Analisi e progetto di diodi planari per circuiti integrati.

Richiami sulle proprietà elettriche del transistor bipolare npn a giunzioni brusche. Transistori con profili gradualati. Analisi e progetto di transistori planari per circuiti integrati. Strutture speciali: transistori multi-emitter e complementari.

Resistori integrati monolitici. Caratteristiche elettriche. 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 digitali 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.

E' prevista una prova orale, nel corso della quale si discuterà anche la soluzione di semplici problemi di progetto.

Propedeuticità consigliata: Elettronica Applicata II.

1048

TECNOLOGIE ELETTRONICHE

Docente: **Antonio Menchetti** prof. inc. stab.

Il corso si propone di illustrare le caratteristiche dei materiali ed i processi tecnologici utilizzati per la realizzazione di componenti e circuiti elettronici, fornendo un'ampia panoramica senza finalità strettamente specialistiche.

Programma

Circuiti stampati. Scigrafia. Fotolitografia. Circuiti a Film Spesso. Realizzazione e prestazioni. - Tecnica del vuoto. - Deposizione di film sottili sotto vuoto; evaporazione e Sputtering Catodico. - Circuiti a film sottile; Realizzazione e prestazioni. - Elettrolisi; Ossidazione anodica. Crescita di stati da fase di vapore; ossidazione termica; strati epitassiali. - Diffusione di impurità nei semiconduttori; Circuiti integrati monolitici; Realizzazione e prestazioni Circuiti ibridi. - Confronto fra i vari tipi di circuiti. - Componenti discreti. - Cenni sull'affidabilità dei componenti e dei circuiti elettronici.

Testi consigliati

Appunti informali redatti a cura del docente.

Prova d'esame orale.

Per la comprensione della materia si ritengono indispensabili le nozioni for-

nite dai corsi di Elettrotecnica, Elettronica Generale e Fisica Tecnica, e molto utili quelle relative ai corsi di Misure elettriche e Comunicazioni elettriche.

2033

TEORIA DEI CIRCUITI

Docente: Vittorio Rizzoli prof. inc.

Il corso si propone di introdurre alla conoscenza e alle applicazioni dei circuiti integrati per microonde, che costituiscono gli elementi costruttivi fondamentali dei moderni sistemi di Telecomunicazioni realizzati a stato solido.

Programma

I circuiti integrati per microonde: loro impieghi nella tecnica e caratteristiche generali. Le linee di trasmissione utilizzate nei circuiti integrati per microonde. Condizioni al contorno per il campo elettromagnetico in mezzi reali. Conduttori ideali elettrici e magnetici. Teoria della propagazione nelle strutture cilindriche. Strutture omogenee e non omogenee. Insiemei completi di modi e classificazione di questi. Il modo TEM e le sue proprietà fondamentali. Interpretazione circuitale della propagazione TEM nelle linee a più fili. Modello capacitivo e suo calcolo. Trasformazioni conformi e formule variazionali. Metodo delle sottosezioni.

Strutture quasi-TEM. Linee a più fili con perdite nei conduttori e con dielettrico non omogeneo. Propagazione quasi-TEM nelle linee a più fili non omogenee. Calcolo del modello capacitivo per strutture non omogenee. Applicazione al calcolo dell'impedenza caratteristica della microstriscia. Limitazioni del campo di valori di impedenza realizzabili dovute alla tecnologia attuale. Microstriscie con sezione trasversale modificata.

Linee simmetriche a due fili e loro proprietà. Concetti di modo pari e dispari e di linea pari e dispari. Accoppiamento codirezionale e scambi di potenza attiva tra linee accoppiate. Calcolo delle linee simmetriche a due fili.

Generalità sugli accoppiatori direzionali. Accoppiatori integrati e loro impiego nella tecnica. Realizzazione di accoppiatori mediante microstriscie. Effetti della disomogeneità del mezzo e loro superamento. Accoppiatori interdigitati. Accoppiatori e diramazione.

Matrice di diffusione e sue proprietà. Filtri ideali. Sintesi alla Darlington dei filtri. Zerì di trasmissione e sintesi in cascata. Filtri a costanti concentrate: prototipi Butterworth e Cebishef e trasformazioni di frequenza. Trasformazione di Richards e filtri a costanti distribuite. Concetto di ridondanza. Trasformatori multi-sezione. Filtri con invertitori di impedenza. Filtri ad accoppiamento parallelo ed eliminazione della ridondanza. Filtri passabanda con invertitori di impedenza. Filtri "end coupled". Misura della matrice di diffusione. L'analizzatore di reti: principio di funzionamento e schema funzionale. Misura a risonanza delle costanti di propagazione in linee di trasmissione semplici e accoppiate.

Testi consigliati

R.F. 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.

Tesi di Laurea: Applicazioni dell'elaboratore elettronico (teoriche); misure sperimentali.

4115

TEORIA DEI SISTEMI

Docenti: **Giovanni Marro** prof. ord. (Elettronici A-K e Chimici)

Roberto Guidorzi prof. inc. (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

- Definizione di sistema e proprietà generali dei sistemi.
- Sistemi a stati finiti: modelli matematici, riduzione alla forma minima, diagnosi e controllo.
- Sistemi lineari non stazionari e stazionari: modelli matematici, controllabilità e osservabilità.
- Cenno ai problemi di osservazione e sintesi.
- Descrizione di una biblioteca modulare di programmi per la risoluzione di problemi di analisi ed esercitazioni relative alla sua utilizzazione.

Testi consigliati

G. MARRO, *Fondamenti di Teoria dei Sistemi*.

S. BEGHELLI, R. GUIDORZI, *Teoria dei Sistemi - Esercizi e Programmi Fortran*.

Gli esami prevedono una prova scritta obbligatoria basata sulla risposta adomande di tipo non mnemonico volte ad accertare il grado di approfondimento della materia da parte del candidato e sullo svilgimento, diretto e mediante l'uso di sottoprogrammi Fortran, di esercizi.

E' utile, per meglio seguire il corso, la conoscenza del linguaggio Fortran.

Le tesi di laurea sono prevalentemente orientate verso la messa a punto di algoritmi efficienti per l'analisi e la sintesi dei sistemi dinamici lineari e non lineari e la loro codifica come programmi per elaboratore numerico.

2017

TEORIA E TECNICA DELLA RICERCA OPERATIVADocente: **Giorgio Carpaneto** prof. inc. stab.

Il corso si propone di fornire informazioni sui problemi della Ricerca Operativa approfondendo l'aspetto modellistico e metodologico.

Illustrare nei dettagli gli algoritmi relativi ai principali problemi; non è indispensabile aver seguito corsi propedeutici perchè gli algoritmi verranno presentati a livello logico. Di alcuni algoritmi verranno forniti anche i relativi codici FORTRAN che potranno venir utilizzati come "scatole chiuse" anche da studenti che non hanno seguito il Corso di Calcolo Elettronico.

Verranno presentate concrete esperienze ed applicazioni in campo industriale e sociale.

Il Corso è rivolto a studenti di qualsiasi specializzazione. E' possibile, per gli studenti più volenterosi, fare esercitazioni "guidate" al Calcolatore.

Programma

Ottimizzazione in presenza di vincoli: Programmazione lineare e quadratica. Problema dei Trasporti. Programmazione linea intera e mista.

Teoria dei Grafi: Tecniche Reticolari CPM-PERT. Albero minimo. Problema assegnamento. Cammino minimo tra due nodi. Problemi di flusso. Locazione ottima di risorse. Centri e punti mediani. Tecniche di tipo combinatorio per la ricerca di percorsi hamiltoniani, (catene, cicli, cammini, circuiti). Metodi Branch and Bound. Richiami di statistica. *Modelli di Simulazione di sistemi ad eventi discreti.* Cenni sulla teoria delle code.

Testi consigliati

G. CARPANETO, *Appunti di Ricerca Operativa*, Bologna, 1976.

HILLIER e LIEBERMANN, *Introduzione alla Ricerca Operativa*, Franco Angeli Editore, Milano 1973.

L. DABONI e altri, *Ricerca Operativa*, Zanichelli, Bologna, 1975.

E' prevista una prova scritta (facoltativa) ed una prova orale. Verranno svolte due ore di esercitazioni la settimana per tutta la durata del Corso. E' utile aver seguito le lezioni dei seguenti corsi: Calcolo Elettronico, Metodi di Osservazioni e Misure, Statistica Applicata, Teoria dei Sistemi.

Tesi di laurea. E' possibile svolgere tesi in uno qualunque dei molti settori della Ricerca Operativa. Il docente, per motivi legati alla propria attività di ricerca, preferisce assegnare argomenti di ottimizzazione della produzione e dei trasporti (applicazioni della Teoria dei grafi e della simulazione numerica) e di applicazioni economiche e sociali (modelli ed algoritmi di ottimizzazione in presenza di vincoli).

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
- 430 Fisica tecnica
- 490 Idraulica
- 663 Macchine
- 890 Scienza delle costruzioni

v. Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica.

1383

CALCOLO ELETTRONICO

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 numerica 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 equa-

zioni 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.

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 stabilità 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 delle densità di difetti e della stabilità chimica sulle proprietà meccaniche di materiali polifasici. Rinvenimento dei difetti indotti dalla tempra, dalla deformazione plastica e dall'irraggiamento.

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 trasformazioni di fase nei solidi, dei processi di ripristino della struttura cristallina (annealing) e di diffusione nei solidi cristallini.

2047

CHIMICA NUCLEARE

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-torio e uranio-plutonio. Prodotti di fissione. Energia associata alla fissione. Distribuzione della massa dei prodotti di fissione. Catene di decadimento dei prodotti di fissione. Potenza residua di decadimento di elementi di combustibile irraggiati.

Comportamento della barretta combustibile durante l'irraggiamento. Trasformazioni subite dal combustibile ceramico. 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.

189

COMPLEMENTI DI MATEMATICHE (per Nucleari)Docente: **Vinicio Boffi** prof. straord.

Il corso si propone di fornire complementi istituzionali e monografici ai corsi di analisi del biennio, inquadrati in un appropriato contesto di problemi di fisica e di ingegneria, e caratterizzati da un'impostazione interdisciplinare delle loro applicazioni.

Programma

Introduzione alle funzioni speciali (esempi di problemi di fisica e di ingegneria da cui si originano alcune delle più comuni funzioni speciali, integrazione per serie, teorema di Fuchs). Elementi di teoria delle equazioni differenziali lineari alle derivate parziali del secondo ordine (classificazione dal punto di vista fisico ed ingegneristico; integrazione per separazione di variabili; problemi agli autovalori; il problema di Cauchy; il teorema di Cauchy-Kowalewska).

Elementi di teoria delle trasformate integrali (trasformate di Laplace e di Fourier, e rispettivi operatori inversi; esempi ed applicazioni).

Elementi di teoria delle equazioni integrali lineari (serie di Fourier; cenni di algebra di operatori lineari; l'equazione e l'operatore di Fredholm; serie di Neumann; equazioni di Volterra).

I testi consigliati sono diversi; esistono dispense approvate dal docente.

Esami orali. Il corso è completato da esercitazioni pratiche ed applicative.

Propedeuticità consigliata: Analisi Matematica I e II.

Tesi di laurea: Indirizzo teorico ed applicazioni della teoria delle equazioni integrali lineari a problemi di teoria del trasporto di particelle, di calore, di suono, ecc.

4127

COMPLEMENTI DI NEUTRONICADocente: **Vincenzo Molinari** prof. straord.

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.

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: Complementi di matematiche, Fisica nucleare, Fisica tecnica.

4116

CONTROLLO DEL REATTORE NUCLEARE

Docente: **Tullio Trombetti** prof. inc. stab.

Il corso ha lo scopo di fornire gli elementi fondamentali relativi al comportamento dinamico del reattore nucleare, ai meccanismi di interazione fra i principali fattori che intervengono nella determinazione di tale comportamento (cinetica neutronica, contoreazioni 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. (cf. Misura delle radiazioni e protezione, Progetto del reattore nucleare).

Programma

Principi di controllo di un reattore nucleare: metodi di controllo, efficacia dei materiali assorbitori, tipi di barre di controllo e inventario di reattività.

Bilancio neutronico e coefficienti, di moltiplicazione effettivo. Teoria delle perturbazioni e calcolo delle perturbazioni di reattività.

Le equazioni della cinetica del reattore secondo il modello di punto: valutazione dei coefficiente, proprietà e metodi di risoluzione.

Metodi statici e dinamici per la determinazione sperimentale della reattività. Calibrazione di barre di controllo presso il Laboratorio di Ingegneria Nucleare. Teoria e calcolo delle barre di controllo.

Coefficienti di temperatura, della reattività in reattori termici omogenei ed eterogenei e in reattori veloci. Modelli di controreazione di reattività.

Escursioni di potenza con inserimenti di reattività a gradino e a rampa. Escursioni in reattori veloci. Modello di Bethe-Tait.

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.

Testi consigliati:

T. TROMBETTI, *Introduzione alla cinetica neutronica*, Coop. univ. —
Appunti dattiloscritti.

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 transistori di flusso neutronico. 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.

1384

COSTRUZIONI DI MACCHINE

Docente: **Pier Gabriele Molari** prof. inc. stab.

Finalità del corso: il corso si propone di mettere l'allievo in grado di calcolare gli organi di macchina.

Programma

— Richiamo di strumenti matematici

Algebra matriciale

Programmazione matematica

Analisi statistica

Funzioni di variabile complessa

— Introduzione

Modello del materiale (lineare, rigido plastico, elasto-plastico)

Modello della struttura (lineare: trave, gusci, piastre; non lineare)

— Parte prima - Analisi della tensione e della deformazione

Caso statico

impostazione al continuo e metodi di soluzione

impostazione al discreto e metodi di soluzione

metodi sperimentali

Caso dinamico

come sopra

— Parte seconda - Sintesi della costruzione

Scelta del materiale.

Progetto contro la deformazione eccessiva

Progetto contro la rottura a fatica e ad urto

Progetto contro la rottura fragile

Progetto contro la deformazione eccessiva e rottura a creep

Progetto contro l'attrito, l'usura, la corrosione

— Sintesi finale - Progetto secondo l'ottimizzazione

Funzioni da rendere minime, vincoli.

Testi consigliati:

- 1) TIMOSHENKO-GOODIER, *Theory of elasticity*, Mc Graw Hill.
- 2) Giuffrè, *Analisi matriciale delle strutture*, Tamburini.
- 3) HATTER, *Matrix computer methods of vibration analysis*, Butterworths.
- 4) RUITZ-KOENISBERGER, *Design for strength production*, Macmillan.
- 5) GIOVANNOZZI, *Costruzione di macchine*, Patron voll. 2.
- 6) HALL, HOLOWENKO, . . ., *Machine design*, Schaum Mc Graw-Hill.

Gli esami si svolgeranno in 5 appelli nelle sessioni normali e in appelli a richiesta degli studenti. Le esercitazioni avranno lo scopo di mettere lo studente, di fronte alla realtà concreta di dover realizzare programmi per il calcolo di organi di macchina, di verificare nella realtà alcune ipotesi semplificative adottate, di entrare a contatto con la realtà industriale.

Si consiglia di aver già frequentato "Calcolo elettronico" e "Scienza della costruzione".

4128

COSTRUZIONI NUCLEARI

Docente: Sergio Curioni prof. inc. stab.

Il corso si propone di fornire allo studente le conoscenze di base per la progettazione termostutturale 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 traassiale)
- 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 termostutturali*, Ed. Pitagora

Z. ZUDANS, *Thermal stresses in nuclear industry*, Ed. Elsevier.

Esercitazioni ed esami.

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.

271

ELETTRONICA NUCLEARE

Docente: Vito Antonio Monaco prof. straord.

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.

275

ELETTROTECNICA (per Chimici, Minerari, Nucleari)

Docente: Maria Laura Ambrosini prof. inc.

(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 semiclassiche. Onde di De Broglie e pacchetti d'onde. La diffrazione degli elettroni. Equazione di Schrödinger: grandezze fisiche ed operatori. Principio di Heisenberg. Soluzione dell'equazione di Schrödinger in diversi casi semplici. Il formalismo della meccanica quantistica e la sua interpretazione. Il momento angolare. L'equazione di Schrödinger per un campo di forze centrali: gli atomi idrogenoidi. Teoria delle perturbazioni. 4 - *Strutture atomiche e molecolari*: lo spin. Principio di Pauli. La configurazione elettronica degli atomi. Metodo di Hartree per gli atomi complessi. Raggi X e strutture atomiche. Atomo di elio ed effetti di scambio. Spettri ottici di atomi complessi e schemi di accoppiamento. Cenni alle strutture molecolari. 5 - *Statistiche classiche e quantistiche*.

Testi consigliati

R. RESNICK, *Introduzione alla relatività ristretta*.

M. BORN, *Fisica Atomica*.

ALONSO-FINN, *Fundamental University Physics*, (III).

BARBERO-MALVANO, *Introduzione alla Fisica Atomica Molecolare; La Fisica di Berkeley* (IV: Fisica Quantistica).

Esercitazioni ed esami.

Il corso è integrato da esercitazioni rivolte a richiamare nozioni di fisica classica e ad applicare i principi esposti nel corso alla soluzione di problemi particolarmente illustrativi delle metodologie utilizzate nella fisica atomica.

Esami orali.

Propedeuticità consigliate.

Fisica I, Fisica II, Meccanica Razionale.

FISICA DEL REATTORE NUCLEAREDocente: **Vinicio Boffi** prof. straordinario.

Il corso si propone di fornire i fondamenti istituzionali connessi col funzionamento fisico, ed i metodi — a carattere anche più monografico — connessi con la progettazione neutronica di un reattore nucleare a fissione, visto sia come sorgente di neutroni sia come sorgente di calore.

Programma

Teoria del trasporto dei neutroni. a) teoria integrale del trasporto per neutroni monoenergetici e scattering isotropo: la legge di Fick e l'approssimazione di diffusione; b) il metodo del "kernel" ed i "kernels" di diffusione e di trasporto; c) teoria integro-differenziale del trasporto, l'equazione di Boltzmann per neutroni monoenergetici e scattering comunque anisotropo; d) estensione al caso di neutroni polienergetici.

Reattori termici omogenei. Fattore di moltiplicazione infinito, e formula dei 4 fattori.

Reattori termici eterogenei. L'influenza dell'eterogeneità sul fattore di moltiplicazione infinito.

Criticità di un reattore termico. Fattore di moltiplicazione effettivo. L'equazione di criticità e la teoria dell'età di Fermi.

Reattore termico con riflettore: schema ad 1 e 2 gruppi di neutroni.

Cinetica del reattore. La formula "inhour".

Cenni sui reattori veloci e di conversione.

Testi consigliati

V. BOFFI, *Fisica del Reattore Nucleare*, Vol. I, parte 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 sperimentali tenute sia in aula sia presso il Laboratorio di Ingegneria Nucleare di Montecuccolino. Esame orale, implicante anche la parte sia teorica che sperimentale svolta nelle esercitazioni.

Propedeuticità consigliate.

Complementi di matematiche, 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 NUCLEAREDocente: **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.

2048

IMPIANTI CHIMICI NUCLEARIDocente: **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.

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 nucleari, 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*.

GLASTONE, *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.

665

MACCHINE E IMPIANTI ELETTRICI

Docente: Francesco Negrini prof. inc.

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 tec-

nologia, 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) BARBAGELATA-DE POL, *Macchine e Apparecchi elettrici*.
- 4) N. FALETTI, *Impianti elettrici*.
- 5) M.S. WEEDY, *Impianti elettrici di potenza*.
- 6) LEVI-PANZER, *Electromechanical Energy Conversion*.
- 7) SUTTON-SHERMAN, *Engineering Magnetohydrodynamics*.
- 8) KETTANI, *Plasma Engineering*.

Propedeuticità consigliata: Elettrotecnica Generale.

Il Corso è intensivo, nel 1° Ciclo, e 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.

A fine anno si svolgeranno visite tecniche guidate alla Tecnomasio Brown Boveri e alla SPIN di Milano ed ai Laboratori Nazionali Gas Ionizzati del CNEN di Frascati.

Tesi di Laurea: gli argomenti disponibili vengono elencati in un tabellone esposto all'inizio di ogni Anno Accademico.

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 singole e di media, errore medio della media, distribuzione gaussiana e Poissoniana.

Camere di ionizzazione:

Teoria; a piatti paralleli — anello di guardia — particolari costruttivi, efficienza ai gamma. Ad aria libera o a gas in pressione.

Contatori Geiger:

Per beta — formazione dell'impulso, caratteristica, calcolo efficienza, dipendenza energia, catena di conteggio, spegnimento scarica.

Per gamma — determinazione efficienza.

Contatori proporzionali:

Caratteristica — uso integrale, analisi di impulsi.

Rivelatori e 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 radiattività 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, infinità, sferica. Sorgente volumetrica piana a slab, infinita, finita, Sorgente lineare finita, infinita, sorgente sferica. Materiale schermante omogeneo o disomogeneo, nel vuoto. Dose all'interno e all'esterno delle sorgenti distribuite. Diagrammi e tabelle delle principali funzioni di calcolo.

Schermaggio di reattori:

Analisi delle radiazioni uscenti — Calcolo degli schermi — Valutazioni preliminari e verifica di progetto — radiazione diretta e secondaria — Attenuazione di spettri energetici. Fattori occupazionali e dipendenza operativa.

Incidenti e analisi. Scelta del Sito:

Incidenti tecnici — Incidenti credibili — Incidenti ipotizzabili — Affidabilità dispositivi — Probabilità di incidente — Rischio di incidente — Analisi meteorologiche — waste gassoso — Valutazioni dosi singole e globali — Analisi piani di intervento — Coefficiente di pericolosità del Sito.

Altri impianti (Cenni):

Industriali di radiosterilizzazione, radioinibizione alla germogliazione, radiostimolazione sementi, impianti X per radiodiagnostica, radioterapia, analisi macromolecolare, acceleratori di particelle, bombe al Co ed al Cs.

Esercitazioni - N. 10

Caratteristiche di un geiger — caratteristiche dei contatori proporzionali a BF_3 — caratteristica delle camere a ionizzazione e taratura — Taratura di contatore a BF_3 e di sonda alfa — caratteristica e taratura di analizzatore multicanale — analisi qualitativa gamma con analizzatore multicanale — analisi quantitativa con il metodo del confronto.

Analisi quantitativa di sorgente piana circolare finita con taratura di efficienza radiale con spettrometria gamma. Analisi qualitativa e quantitativa di campioni di terreno e vegetali per mezzo di analizzatore multicanale.

Calcolo schermatura primaria e secondaria di un laboratorio ospedaliero di medicina nucleare.

4140

NEUTRONICA APPLICATA

Docente: Francesco Premuda prof. inc.

Il corso si prefigge di fornire, sulla base di esempi concreti classici ed avanzati (calcolo di integrali di risonanza, cinematica dello scattering anelastico e ral-

lentamento neutronico in reattori nucleari, calcoli di criticità e schermaggio), le impostazioni metodologiche che guidano la traduzione della neutronica più teorica in calcoli applicativi e soprattutto in codici di calcolo per specifici problemi reattoristici.

Programma

Introduzione sulla problematica nei calcoli reattoristici. I PARTE: *Calcolo degli integrali di risonanza*: Flusso alle risonanze con le approssimazioni delle risonanze strette (NR) e larghe (WR) e sezioni d'urto alle risonanze per la determinazione di integrali di risonanza e di sezioni d'urto efficaci di gruppo in un reattore omogeneo. Effetto Doppler in reattori termici e veloci. Metodo delle risonanze intermedie (IR). Effetti di superficie e di volume negli integrali di risonanza eterogenei con le approssimazioni NR e WR. Teorema di equivalenza. Discretizzazione in letargia delle equazioni del rallentamento nel codice ZUT. II PARTE: *Cinematica dello scattering anelastico e rallentamento neutronico in reattori veloci*: Kernel di scattering esatto e modelli approssimati per l'urto anelastico a più livelli discreti; modello evaporativo per il continuo. Contributo di scattering anelastico al bilancio del rallentamento. Reazione a catena, conversione e breeding in reattori termici e veloci; loro spettro e suo calcolo con modelli di rallentamento continuo. III PARTE: *Calcoli di criticità e di schermaggio*: Fondamenti di calcoli di criticità iterativi. Teoria asintotica del reattore. Equazioni di diffusione a più gruppi, discretizzate nel codice TWENTI GRAND. Metodi iterativi e accelerazione della loro convergenza in TWENTI GRAND ed EXTERMINATOR. Complementarità tra codici di diffusione e trasporto; equazione di diffusione tensoriale. Metodi S_n e alle ordinate discrete nel DTF IV. Proprietà neutroniche alle diverse energie e difficoltà per i codici di schermaggio. Il metodo misto (P_N -sviluppo in polinomi della variabile spaziale) nel codice SHERLOCK.

Testi consigliati:

PREMUDA F., *Elementi di neutronica applicata*.

Parte I: *Calcolo degli integrali di risonanza, rapporto CNEN INF/CEC (76) 3*.

Parte II, *Rallentamento per scattering elastico ed anelastico nei reattori nucleari*, (in corso di stampa).

Parte III, *Calcoli di criticità e di schermaggio neutronico per reattori nucleari*, (in corso di stampa).

Esami: orale in cui si verifica la comprensione delle impostazioni date ai problemi applicativi studiati nel corso, a partire da un primo argomento scelto dal candidato.

Propedeuticità consigliate: Complementi di matematica. Fisica del reattore nucleare. Controllo del reattore nucleare. Complementi di neutronica. Calcolo elettronico.

Tesi: Studio ed applicazione di tecniche di trasporto neutronico al calcolo di flussi neutronici. Calcoli dello spettro energetico in un reattore. Risoluzione del-

l'equazione della diffusione tensoriale per vari casi fisici. Calcoli di coefficiente di diffusione e distanza di estrapolazione, con tecniche di trasporto, per mezzi finiti.

2042

PROGETTO 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, costituzione 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.

2044

STRUMENTAZIONE ELETTRONICA

Docente: Giorgio Valle prof. inc. stab.

Il corso si propone di fornire una descrizione dei principi di funzionamento delle apparecchiature per la metrologia di radiazioni nucleari.

Programma

Rivelazione delle radiazioni nucleari. Risoluzione dei sistemi di misura. Statistica dei segnali rivelati: processi stazionari, processi ergodici, funzioni di distribuzione delle probabilità.

Formazione dei segnali con circuiti lineari. Circuiti integratori e derivatori. Formazione con linee di ritardo. Misure di ampiezza ed influenza del rumore. Risoluzione nelle misure di ampiezza, disturbi introdotti dall'impilamento degli impulsi. Circuiti preamplificatori di tensione e di carica e loro comportamento rispetto al rumore. Circuiti amplificatori: caratteristiche ed esempi. Circuiti discriminatori di ampiezza. Spettri di ampiezza integrali e differenziali. Analizzatore monocanale. Circuiti di anticoincidenza. Amplificatori finestra. Analizzatore multicanale. Convertitore a molti discriminatori e problemi connessi con la linearità integrale e differenziale. Codifica digitale della ampiezza degli impulsi. Convertitori ampiezza-tempo di tipo Wilkinson. Allungatori di segnale. Misura diretta della ampiezza di un impulso. Misure di tempo. Circuiti Chronotron. Schemi a blocchi di sistemi per la codifica digitale diretta di intervalli di tempo. Risoluzione delle misure.

Architettura degli analizzatori multicanale moderni, e sistemi programma per le misure di laboratorio. Struttura dei calcolatori numerici e delle unità di ingresso e di uscita dei dati. Esempi di impiego.

Testi consigliati:

- E. KOWALSKI, *Nuclear Electronics*, Springer Verlag 1970.
- L. HERBST, *Electronics for Nuclear Particle Analysis*, Oxford University Press, 1970.
- B. SOUCEK, *Minicomputers in data Processing and Simulation*, Wiley Interscience, 1972.

Esercitazioni su minicomputer HP 2100. Esami con prova orale.

Si richiede di aver già seguito il corso di Elettronica Nucleare. Tesi di Laurea riguardanti l'impiego di mini e microcomputers.

1387

STRUMENTAZIONE E REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTIDocente: **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 WALLIK, *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: 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 Maria Strocchi prof. inc. stab.

Programma

Parte Generale. 1. Considerazioni introduttive. 1.1. Principi fisici. 1.2. Classificazione e descrizione sommaria dei principali tipi di reattore: criteri di classificazione. 1.3. Cenno alle proprietà nucleari dei materiali.

2. Studio delle proprietà dei materiali. Aspetti termodinamici. 2.1. Richiami di termodinamica: le funzioni di Helmholtz e di Gibbs. 2.2. Applicazione allo studio degli equilibri di fase. 2.3. Diagrammi di stato: sistemi binari; equilibri liquido-solido e solido-solido; diagrammi di stato complessi; cenno ai diagrammi di stato dei sistemi ternari. 2.4. Applicazione allo studio degli equilibri chimici: grado di avanzamento; funzioni di stato nei sistemi sede di reazione chimica; criteri generali di equilibrio.

3. Studio delle proprietà dei materiali. Aspetti cinetici. 3.1. Richiami di cinetica: definizioni; effetto della temperatura; diffusione. 3.2. Solidificazione in condizioni di non equilibrio. 3.3. Trasformazioni allo stato solido: strutture di transizione e martensitiche; diagramma TTT.

4. Studio delle proprietà dei materiali. Aspetti strutturalistici. 4.1. Richiami sulla struttura dei solidi; cristalli perfetti: solidi molecolari, ionici, covalenti, metallici. 4.2. Difetti reticolari; cristalli reali: difetti in equilibrio e non in equilibrio termodinamico. 4.3. Conseguenze della presenza dei difetti reticolari nei solidi: diffusione, plasticità, incrudimento, interazione tra dislocazioni, atomi di soluto, precipitati e fasi disperse, indurimento.

5. Effetto della temperatura sulle proprietà dei materiali. Trattamenti termici. 5.1. Ricottura: di omogeneizzazione, distensione e completa; riassetamento, ricristallizzazione, ingrossamento dei grani. 5.2. Trattamenti di indurimento: trasformazione eutetoidica (tempre di fase); precipitazione da soluzione solida soprassatura; trasformazione ordine-disordine. 5.3. Comportamento dei metalli e leghe in condizioni di esercizio ed alta temperatura: scorrimento a caldo.

6. Effetto delle radiazioni sulle proprietà dei materiali. 6.1. Principi generali, 6.2. Aspetti fisici. 6.3. Danneggiamento del reticolo cristallino e modificazioni delle proprietà dei materiali: effetti sulle dimensioni reticolari, struttura, densità, forma, proprietà termofisiche e meccaniche. 6.4. Energia immagazzinata e suo rilascio.

7. Compatibilità e corrosione. 7.1. Considerazioni introduttive e definizioni. 7.2. I fondamenti dei processi corrosivi ad umido: richiami di elettrochimica; aspetti stechiometrici, termodinamici, cinetici, morfologici; metodi di prevenzione e protezione. 7.3. Cenno ai processi di corrosione a secco. 7.4. Cenno ai processi corrosivi determinati da sali fusi.

Parte speciale. 1. Gli elementi di combustibile. 1.1. Considerazioni generali.

1.2. Uranio e sue leghe. 1.3. Combustibili ceramici. 1.4. Materiali strutturali e per rivestimento. 2. Moderatori. 2.1. Considerazioni introduttive. 2.2. Grafite.

2049

TECNOLOGIE GENERALI

Docente: Vincenzo Dal Re prof. inc.

(v. Corso di Laurea in Ingegneria Chimica).

4115

TEORIA DEI SISTEMI

Docente: Giuseppe Basile prof. straord.

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. inc. stab.

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 sintetico del corso

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 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.

NORMATIVA DI SEGRETERIA

(Facoltà di Ingegneria, Via Zamboni, 33 Bologna)

Responsabile: Sig. 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. 1.500), 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 1975-76, un certificato in carta legale degli studi compiuti⁽¹⁾, 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 1975-76 *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. 38.410 (uguale per tutte le Facoltà). Coloro che aspirano alla dispensa delle tasse o all'assegno di studio vedano le apposite disposizioni.

4°) Tre fotografie, formato tessera su fondo bianco, una delle quali applicata su carta bollata da L. 1.500 e autenticata dall'autorità competente.

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

Con la 2ª 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.

Gli studenti stranieri che aspirano alla immatricolazione al I anno di un corso di laurea saranno ammessi sulla base del loro titolo di studi secondari estero, a *condizione che esso sia accettato per la immatricolazione universitaria presso la Facoltà da loro scelta nel paese in cui il titolo stesso è stato rilasciato.*

Tutti gli studenti stranieri sono tenuti a "dimostrare la conoscenza della lingua italiana mediante una prova che si svolge in forma di colloquio con il Preside della Facoltà oppure con un professore da lui designato".

Chi non ottiene in tale prova giudizio favorevole non può essere ammesso, né può ripetere la prova se non nell'anno accademico successivo.

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

Gli studenti provenienti da un Paese nel quale vige il sistema del *numerus clausus*, dovranno sostenere un esame di ammissione, salvo il caso che l'esame non sia stato superato presso una Università di detto Paese.

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

B - *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.

C - *Assegnazione della sede universitaria.*

Al fine di evitare il sovraffollamento di alcune Università, fenomeno che torna a detrimento dell'efficienza delle strutture universitarie, e quindi dell'interesse degli stessi candidati, gli studenti stranieri che aspirano alla immatricolazione *al primo anno* di un corso di laurea indicheranno almeno tre Università, in ordine di preferenza.

La Conferenza Permanente dei Rettori delle Università italiane curerà l'assegnazione dei singoli studenti ad una delle sedi da essi indicate nei limiti dei posti disponibili. Ove questo non fosse possibile, gli studenti verranno inviati ad altra sede disponibile. Gli interessati saranno tempestivamente informati della sede loro assegnata.

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.

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.

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 1976/77.

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. 1.500 indirizzata al Magnifico Rettore con l'indicazione delle generalità, indirizzo, relatore, numero di matricola, per l'ammissione all'esame di laurea;
- 2) Domanda in carta legale da L. 1.500, 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. 3.700 (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 cul 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. 3.700);
- 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 15 gg. prima della data fissata per l'esame di laurea.*

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

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. 1.500, 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 1976-77, 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;
Chimica 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 agli 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 nonchè 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, soprattasse e contributi.

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

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

B - *Trasferimenti da altre Università.*

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

- a) domanda 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. 1.500, 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, modifica 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 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.

b) Al fine del riconoscimento della carriera scolastica comune valgono le seguenti norme riguardanti gli esami del biennio:

Disegno.

Firma di frequenza ed esame sono comunque convalidati. 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.

Disegno II.

La firma di frequenza è comunque convalidata; l'esame è convalidato purché l'indirizzo dell'insegnamento seguito sia quello specifico del Corso di laurea che lo studente intende seguire; fa eccezione il Corso di laurea in Ingegneria mineraria, per gli studenti del quale l'esame è comunque convalidato; inoltre per gli studenti che hanno superato l'esame di Disegno II presso Facoltà di Scienze Minerarie, Fisiche e Naturali e che presentino un attestato della Facoltà dal quale risulti l'indirizzo civile o meccanico del corso cui l'esame sostenuto si riferisce, questo viene convalidato rispettivamente per il Corso di laurea in Ingegneria civile o per il Corso di laurea in Ingegneria meccanica.

Chimica applicata.

Sono convalidati firma di frequenza ed esame per quelli di Chimica applicata del Corso di laurea in Ingegneria chimica.

Chimica applicata, Chimica applicata ai materiali da costruzione, Tecnologia dei materiali e chimica applicata. Tecnologia generale dei materiali.

Sono convalidati firma di frequenza ed esame per quelli di:

Chimica applicata (Corsi di laurea in Ingegneria meccanica e mineraria), Chimica dei materiali elettrici (Corso di laurea in Ingegneria elettrotecnica), Tecnologia dei materiali e chimica applicata (Corso di laurea in Ingegneria civile).

Teoria e pratica delle misure.

Sono convalidati firma di frequenza ed esame per quelli di Metodi di osservazione e misura.

Struttura della materia.

Sono convalidati firma di frequenza ed esame per quelli di Fisica atomica.

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. Le presenti norme entrano integralmente in vigore a partire dal 1 agosto 1976, per l'anno accademico 1976/77.

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 delle macchine e macchine, (490) Idraulica, (198) Costruzione di ponti, (204) Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti, (2006) Acquedotti e fognature (sem), più un gruppo di discipline a scelta fra i gruppi I, III e IV consigliati dalla Facoltà. 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 dicembre 1969, n. 910, art. 2 e legge 30 novembre 1970, n. 924.

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 Facoltà, 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 Facoltà 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)

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 insegnamenti obbligatori sul piano nazionale, a parte i seguenti casi:
 - 8.1 "Meccanica applicata alle macchine" e "Macchine" possono essere sostituiti con due insegnamenti annuali uno dei quali deve essere "Meccanica applicata alle macchine e macchine" o "Meccanica delle macchine e macchine", limitatamente ai corsi di laurea in Ingegneria elettrotecnica (sotto particolari condizioni), chimica e mineraria.
 - 8.2 "Idraulica" per il corso di laurea in Ingegneria Elettrotecnica per gli studenti che non scelgano il corso complementare di "Impianti idroelettrici e di rivalutazione dell'energia".
 - 8.3 "Radiotecnica" per il corso di laurea in Ingegneria Elettronica per gli studenti che scelgano gli indirizzi Automatico, Informatico, Biomedico.
9. Non è accettata la sostituzione di alcun corso con un insegnamento di lingue.

B - Norme di massima per singoli corsi di laurea

a) Corso di Laurea in Ingegneria Civile

Sono ammesse le seguenti sostituzioni:

- 1) Disegno II con corso di Disegno di altre Università ma di analogo contenuto. (Ad esempio per gli studenti provenienti dall'Università di Ferrara è richiesto, conformemente alla delibera del C.D.F. del 15/10/71, un attestato che dichiara il corso afferente all'Ingegneria Civile).

- 2) *Tecnologia dei materiali e chimica applicata* con corsi di analogo contenuto quali ad esempio "Tecnologia generale dei materiali" dell'Università di Parma, "Tecnologia dei materiali" dell'Università di Modena, "Chimica applicata ai materiali da costruzione" delle Università di Ferrara, Firenze e Modena. La sostituzione del suddetto esame è ammessa anche con quello di "Chimica applicata" sostenuto nella nostra Facoltà ovvero in quella di Parma da studenti di altro Corso di Laurea.
- 3) *Litologia e Geologia* solo con "Geotecnica" e "Tecnica delle Fondazioni" (semestrali) della nostra Facoltà.
- 4) *Principi di Diritto* con altra materia di analogo contenuto.
- 5) *Fondamenti di economia ed estimo* con altra materia di analogo contenuto (Ad esempio per trasferimenti interni alla nostra Facoltà è ritenuta accettabile la sostituzione di tale esame con quello di "Economia ed organizzazione aziendale").
- 6) *Impianti tecnici civili* (anche per la Sezione Edile).
- 7) *Tecnica ed economia dei trasporti* (per la sola Sezione Idraulica)
- 8) *Acquedotti e fognature*
- 9) *Tutte le materie a scelta* delle tre Sezioni.

B - Corso di laurea in ingegneria elettrotecnica.

Biennio:

L'insegnamento di "Chimica dei materiali elettrici" può essere sostituito con "Metodi di osservazione e misura" (per Elettronici).

Triennio:

Sono sostituibili alle condizioni a fianco 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 i corsi di indirizzo di "Calcolo delle macchine elettriche", "Costruzioni elettromeccaniche" e "Trazione e propulsione";
 "Economia ed organizzazione aziendale" per chi non sceglie gli insegnamenti di "Centrali e stazioni elettriche", "Impianti nucleari", e "Impianti idroelettrici e di rivalutazione dell'energia";
 "Impianti elettrici II" per chi non sceglie gli insegnamenti di:
 "Centrali e stazioni elettriche", "Impianti idroelettrici e di rivalutazione dell'energia", "Impianti nucleari", "Strumentazione e regolazione degli impianti" e "Tecnica delle alte tensioni".

Insegnamenti di un gruppo di indirizzo possono inoltre essere sostituiti con insegnamenti di altri gruppi.

La Commissione per l'esame delle domande di variazione di piano di studio si riserva inoltre di prendere in considerazione domande che pur esulando da questo schema si presentino organiche. Tali domande dovranno essere sottoposte all'appro-

vazione del CCdL.

C - Corso di laurea in Ingegneria Chimica.

I - Non è consentita la sostituzione di esami di categoria *a* (materie obbligatorie sul piano nazionale), con la eccezione degli esami di "Meccanica applicata alle macchine" e di "Macchine", che possono essere sostituiti dall'esame di "Meccanica applicata alle macchine e macchine" (del corso di laurea in Ingegneria civile), fermo comunque restando in ogni caso il numero totale di 29 esami di corsi annuali che ogni studente deve superare prima della laurea.

II - Delle materie di categoria *b* (obbligatorie sul piano di Facoltà) è ammessa la sostituzione delle seguenti:

Chimica fisica II (e per essa, non attivata, è ammessa la sostituzione dei corsi dichiarati sostitutivi per i quattro gruppi di indirizzo);

Costruzioni di apparecchiature chimiche;

Idraulica;

Metallurgia e metallografia.

III - E' consentita la sostituzione di qualsiasi esame di categoria *c* (materie dei gruppi a scelta).

IV - A causa della parziale sovrapposizione del contenuto dei due corsi, si sconsiglia l'inserimento di "Teoria e sviluppi dei processi" ed "Economia ed organizzazione aziendale" nel medesimo piano di studio.

V - In ogni caso l'accettazione delle sostituzioni proposte (sia per le materie di categoria *b* sia per quelle di categoria *c*) 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 caratterizzano.

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:

- | | |
|---------------------------|--------------------------------|
| 1 - Analisi Matematica I | 9 - Metodi di oss. e misura |
| 2 - Chimica | 10 - Calcolo Elettronico |
| 3 - Fisica I | 11 - Complementi di matematica |
| 4 - Geometria | 12 - Elettrotecnica I |
| 5 - Disegno | 13 - Fisica Tecnica |
| 6 - Analisi Matematica II | 14 - Elettronica Applicata I |
| 7 - Fisica II | 15 - Elettrotecnica II |
| 8 - Meccanica Razionale | 16 - Scienza delle Costruzioni |

- | | |
|--|--|
| 17 - Teoria dei sistemi | 21 - Controlli automatici |
| 18 - Campi elettromagnetici e circuiti | 22 - Reti Logiche e Calcol. elettronici |
| 19 - Comunicazioni elettriche | 23 - Meccanica delle Macchine e Macchine |
| 20 - Misure elettriche | |
- 3) I 6 insegnamenti restanti possono essere scelti tra quelli elencati nel seguito:
- | | |
|---|---|
| 1 - Bioautomatica | 13 - Statistica Applicata |
| 2 - Chimica fisica dello stato solido | 14 - Strumentazione Biomedica |
| 3 - Controllo dei processi | 15 - Teoria dei circuiti |
| 4 - Economia e Organ. aziendale | 16 - Teoria e tecnica ricerca operativa |
| 5 - Elementi di analisi funzionale | 17 - Tecnica delle microonde |
| 6 - Elettronica Applicata II | 18 - Tecnica degli impulsi |
| 7 - Elettronica Industriale | 20 - Tecniche di controllo |
| 8 - Elettronica Quantistica | 20 - Tecnologie dei semiconduttori |
| 9 - Impianti elettrici | 21 - Tecnologie elettroniche |
| 10 - Linguaggi di programmazione | 22 { Due insegnamenti annuali impartiti presso |
| 11 - Radiotecnica | 23 { altro corso di laurea dell'Università di Bo- |
| 12 - Sistemi per l'elabor. dell'inform. | logna |
- 4) Le scelte operate dallo studente sono assoggettate ai seguenti vincoli:
- a) L'insegnamento di Elettronica Applicata II deve essere inserito nel piano se l'indirizzo proposto è prevalentemente tecnologico o di telecomunicazioni.
- b) L'insegnamento di Radiotecnica deve essere inserito nel piano se l'indirizzo proposto è prevalentemente di telecomunicazioni.
- c) Al posto di un insegnamento annuale del corso di laurea in Elettrotecnica 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.

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 (cogno-

me, 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 1.500, 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 aver superato il numero di esami indicato nella tabella seguente:

Corso di Laurea e Sezione		Anno di corso				
		I	II	III	IV	V
Civile 08 Edile	per anno	5	6	6	6	7
	in totale	5	11	17	23	30
09 Idraulica	per anno	5	6	6	6	6
	in totale	5	11	17	23	29
10 Trasporti	per anno	5	6	6	6	6
	in totale	5	11	17	23	29
02 Meccanica	per anno	5	5	6	6	7
	in totale	5	10	16	22	29
03 Elettrotecnica	per anno	5	5	6	7	6
	in totale	5	10	16	23	29
04 Chimica	per anno	5	6	5	7	6
	in totale	5	11	16	23	29
05 Mineraria	per anno	5	6	5	7	6
	in totale	5	11	16	23	29
06 Elettronica	per anno	5	5	7	6	6
	in totale	5	10	17	23	29
07 Nucleare						

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.



CoLibri
COVER SYSTEM

Made in Italy

COMUNE
DI
BOLOGNA

GUIDA
ALLE
BIBLIOTECHE
DI
BOLOGNA


COOPERATIVA
LIBRARIA
UNIVERSITARIA
EDITRICE
BOLOGNA



In libreria:

GUIDA ALLE BIBLIOTECHE DI BOLOGNA

a cura dell'Assessorato alla Cultura del Comune di Bologna e del Comitato organizzatore delle ricerche sullo sviluppo culturale della città di Bologna, promosse dal Consiglio d'Europa

Edito dalla Cooperativa Libreria Universitaria Editrice
Bologna 1976, L. 1000