

**Guide ai corsi di laurea**

**Politecnico di Torino 1993/94**



**Ingegneria elettrica**

Le *Guide* sono predisposte sulla base dei testi forniti dai Consigli di corso di laurea.

*Corso di laurea*

Ingegneria civile  
Ingegneria edile  
Ingegneria aeronautica  
Ingegneria chimica  
Ingegneria dei materiali  
Ingegneria elettrica  
Ingegneria meccanica  
Ingegneria nucleare  
Ingegneria delle telecomunicazioni  
Ingegneria elettronica  
Ingegneria informatica  
Ingegneria gestionale  
Ingegneria per l'ambiente e il territorio

*Presidente – Coordinatore*

Prof. Cesare Castiglia  
Prof. Gian Paolo Scarzella  
Prof. Giuseppe Bussi  
Prof. Vito Specchia  
Prof. Aurelio Burdese  
Prof. Mario Lazzari  
Prof. Gustavo Belforte  
Prof. Evasio Lavagno  
Prof. Mario Pent  
Prof. Carlo Naldi  
Prof. Paolo Prinetto  
Prof. Sergio Rossetto  
Prof. Sebastiano Pelizza

Edito a cura del CIDEM  
Centro Interdipartimentale di  
Documentazione e Museo del  
Politecnico di Torino

Supplemento al n. 3, giugno 1993 di *Linee : bollettino di informazione e cultura del Politecnico di Torino / a cura del CIDEM.*  
Autorizzazione Tribunale di Torino n. 3570 del 29/10/85.

Corso Duca degli Abruzzi 24 – 10129 Torino  
Tel. 011.564'6601 – Fax 011.564'6609

Stampato nel mese di luglio 1993 dalla Tipolitografia AGAT  
Via San G.B. Cottolengo 19 – 10152 Torino

## Indice

- 5 Presentazione
- 13 Programmi degli insegnamenti
- 75 Indice alfabetico degli insegnamenti
- 77 Indice alfabetico dei docenti

**Le Guide ai corsi di laurea in ingegneria.** Scopo fondamentale dei presenti opuscoli è quello di orientare gli studenti nella scelta dei piani di studio. In un momento particolarmente arduo di riforma e di scelte di sviluppo dell'assetto universitario, gli studenti devono poter decidere con il massimo della chiarezza, per potersi adeguare alle innovazioni, ed eventualmente anno per anno farsi ragione e modificare le scelte a seguito delle più specifiche verifiche attitudinali.

Nel 1993/94 sono attivati a Torino tredici *corsi di laurea*, in ingegneria

|                 |                                    |                             |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------|
| civile (D)      | edile (G)                          |                             |
| chimica (C)     | dei materiali (E)                  | nucleare (Q)                |
| aeronautica (B) | meccanica (P)                      | elettrica (H)               |
| elettronica (L) | informatica (N)                    | delle telecomunicazioni (F) |
| gestionale (M)  | per l'ambiente e il territorio (R) |                             |

Per permettere l'approfondimento di competenze metodologiche e di tecniche progettuali realizzative e di gestione in particolari campi, i corsi di laurea possono essere articolati in indirizzi ed orientamenti. Dell'*indirizzo* eventualmente seguito viene fatta menzione nel certificato di laurea, mentre gli *orientamenti* corrispondono a differenziazioni culturali, di cui invece non si fa menzione nel certificato di laurea; gli orientamenti vengono definiti annualmente dai competenti *Consigli dei corsi di laurea*, e ne viene data informazione ufficiale mediante il *Manifesto degli studi*. Nelle pagine di queste *Guide*, di ciascun corso di laurea viene data una breve descrizione, e viene illustrato il programma di attuazione degli orientamenti previsti per ogni indirizzo.

**Gli insegnamenti.** Il nuovo ordinamento didattico<sup>1</sup> prevede diversi tipi di insegnamenti, distinti in monodisciplinari, monodisciplinari a durata ridotta (nel seguito indicati come corsi ridotti), e integrati. Un *insegnamento monodisciplinare* è costituito da 80–120 ore di attività didattiche (lezioni, esercitazioni, laboratori, seminari ecc.) e corrisponde ad una unità didattica o annualità. Un *corso ridotto* è costituito da 40–50 ore di attività didattiche e corrisponde a mezza annualità. Un corso integrato è costituito da 80–120 ore di attività didattiche e corrisponde ad una annualità; esso è svolto – in moduli coordinati di almeno 20 ore ciascuno – da due o, al massimo, tre professori che fanno tutti parte della commissione d'esame.

<sup>1</sup> Decreto rettorale 1096 del 1989-10-31, pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 45 del 1990-02-23. »

Ogni corso di laurea corrisponde a 29 annualità complessive, ripartite, in ognuno dei cinque anni di corso, su due *periodi didattici* (detti anche impropriamente semestri); ogni periodo didattico è di durata pari ad almeno 13 settimane effettive di attività. Un'altra novità introdotta dal DPR 20 maggio 1989<sup>2</sup> è costituita dal fatto che non sono prescritti specifici insegnamenti (almeno a livello nazionale) per il conseguimento della laurea in un determinato corso di laurea in Ingegneria, ma sono prescritti i numeri minimi di unità didattiche da scegliere in determinati raggruppamenti disciplinari consistenti in *gruppi*<sup>3</sup> di discipline affini. Lo stesso nuovo Statuto stabilisce l'articolazione dei vari corsi di laurea in termini di *gruppi* e di *unità didattiche*, cosicché ogni Consiglio di corso di laurea può più facilmente adeguare annualmente il piano degli studi alle nuove esigenze richieste dal rapido evolversi delle conoscenze e degli sviluppi tecnologici. Perciò ogni anno i vari Consigli dei corsi di laurea stabiliscono gli insegnamenti ufficiali, obbligatori e non obbligatori, che costituiscono le singole annualità, e le norme per l'inserimento degli insegnamenti non obbligatori, eventualmente organizzati in orientamenti.

Tutte queste informazioni e norme vengono pubblicate ogni anno nel Manifesto degli Studi (v. *Guida dello studente*, pubblicata a cura della Segreteria studenti).

**Finalità e organizzazione didattica dei vari corsi di laurea.** Le pagine di queste *Guide* illustrano per ognuno dei corsi di laurea attivati – ed eventualmente per ognuno dei rispettivi indirizzi attivati – le professionalità acquisibili dai laureati, nonché il concetto ispiratore dell'organizzazione didattica, fornendo tracce schematiche di articolazione delle discipline obbligatorie ed esemplificazioni relative ai corsi facoltativi, organicamente inquadrabili nei vari curricula accademici.

Ogni corso di laurea (tranne rarissime eccezioni) ha previsto in prima attuazione l'organizzazione di tutti i corsi in periodi didattici. Per quanto concerne l'organizzazione didattica e l'attribuzione dei docenti agli insegnamenti, si segnala ancora che:

- alcuni corsi di laurea introducono già al terzo anno una scelta di corsi di indirizzo o di orientamento, che richiedono la formulazione di un'opzione fra le scelte segnalate: tali opzioni vanno esercitate all'atto dell'iscrizione;
- in relazione a talune difficoltà, che possono verificarsi all'atto dell'accorpamento di taluni CL per le discipline di carattere propedeutico (del primo e secondo anno), non è assicurata che la corrispondenza dei docenti indicati con gli effettivi titolari di dette discipline. In alcuni casi, non essendo noto al momento della stampa delle *Guide*, il nome del docente è stato lasciato indeterminato ("Docente da nominare").

<sup>2</sup> Pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 186 del 1989-08-10.

<sup>3</sup> Questi *gruppi* coincidono con quelli dei raggruppamenti concorsuali per i professori universitari.



Corso di laurea in

# Ingegneria elettrica

## 1 Profilo professionale

La figura dell'ingegnere laureato in *Ingegneria elettrica* trova ampia richiesta nel mondo industriale e dei servizi per la sua estesa formazione culturale, che prevede competenze di base anche nei settori della meccanica, dell'elettronica, della termotecnica e dell'ingegneria strutturale.

Il Corso di laurea, diviso nei due indirizzi di *Automazione* ed *Energia*, permette inoltre all'ingegnere elettrico una scelta che pone in maggiore evidenza gli aspetti specifici e specialistici nei settori dell'elettronica industriale, della robotica, e, in genere, del controllo delle apparecchiature elettromeccaniche, della gestione, della produzione, trasformazione-trasporto dell'energia, con particolare riguardo ai problemi di carattere energetico, di affidabilità e sicurezza.

Nella sua formazione l'attuale ingegnere elettrico si avvale anche di tecniche informatiche di tipo applicativo per i problemi di progettazione di apparecchiature e di governo automatico degli impianti.

L'area culturale che è definita dagli sbocchi professionali relativi al corso di laurea in *Ingegneria elettrica* riguarda essenzialmente:

- i sistemi di produzione e trasmissione dell'energia elettrica;
- i sistemi di distribuzione dell'energia elettrica;
- le apparecchiature industriali elettriche ed elettroniche di potenza nella loro totalità;
- gli insiemi costituenti l'alimentazione e la "muscolatura intelligente" dei sistemi per l'automazione;
- l'energetica elettrica, ovvero le metodologie per l'ottimizzazione della gestione e della utilizzazione dell'energia elettrica e dei sistemi elettrici;
- le sorgenti di energia rinnovabile, con particolare riguardo alle tecnologie dei sistemi eolici e solari;
- gli azionamenti per uso industriale e per la trazione elettrica di tutti i tipi;
- i sistemi elettrici per i trasporti e per l'alimentazione e la gestione dei servizi elettrici di bordo;
- gli alimentatori per i sistemi di telecomunicazione, ed in generale per i sistemi "dell'informazione";
- ecc.

Tutto ciò riguarda sia la tecnologia tradizionale, che non è stata cancellata dall'enorme sviluppo dell'ingegneria elettrica, sia tutti i moderni mezzi di supporto allo sviluppo del mondo dell'industria, dei trasporti e dei servizi pubblici e privati.

Sono alla base della rivoluzione tecnologica in atto:

- lo sviluppo di nuovi materiali magnetici;
- lo sviluppo della componentistica dell'elettronica industriale;
- lo sviluppo dei dispositivi elettronici di potenza per commutazione statica;
- lo sviluppo dei sistemi elettromeccanici avanzati;
- lo sviluppo delle tecniche di controllo digitali;
- lo sviluppo delle tecniche informatiche nella progettazione automatica e nel governo degli impianti;
- le nuove esigenze di affidabilità e sicurezza;
- l'importanza dei problemi di carattere energetico.

Tutto ciò rende ragione sia della larghezza del fronte che l'area culturale in oggetto si trova a dover gestire, sia della ampiezza dei temi che si sono storicamente consolidati nell'ambito dei ricercatori afferenti all'area culturale tradizionalmente denominata "elettrotecnica". In questo ambito si è sviluppata la ricerca e la progettazione di soluzioni innovative sia per i "componenti di sistema" (in senso lato) che entrano nei processi elettrici industriali e non, sia per la gestione ed il controllo dei sistemi elettrici nella loro globalità. In tale senso "ingegneria elettrica" comprende lo studio e la realizzazione di tutti i sistemi utilizzati come vettori di energia elettrica, siano sistemi puramente elettrici o con conversione da o verso altra forma d'energia.

## 2 Insegnamenti obbligatori

Il corso si basa su 23 insegnamenti obbligatori comuni, 3 obbligatori per ciascuno dei due indirizzi (indirizzo *Automazione* e indirizzo *Energia*) e 3 relativi all'orientamento scelto dallo studente.

Per una formazione congruente con l'indicazione del profilo professionale precedentemente esposta, tra gli insegnamenti obbligatori viene proposto un *curriculum* di studi articolato sulle seguenti fasi:

### a) formazione matematico-fisica di base

- I corsi di *Analisi matematica 1 e 2* e *Analisi matematica 3* (1/2 unità didattica, il cui svolgimento è previsto nel terzo anno) hanno lo scopo di fornire allo studente gli strumenti di base del calcolo differenziale. Essi insegnano come affrontare i problemi con rigore e spirito critico e completano la formazione matematica con particolare riferimento all'integrazione in più dimensioni, alla integrazione di sistemi di equazioni differenziali e allo sviluppo in serie.
- Il corso di *Geometria* fornisce una preparazione di base allo studio di problemi con l'uso di coordinate in relazione alla geometria analitica del piano e dello spazio. Il corso tratta anche dei metodi di calcolo matriciale e dello studio delle funzioni di più variabili.
- I corsi di *Fisica 1 e 2* svolgono un ruolo formativo sulla metodologia interpretativa propria della fisica, con approfondimento dei fondamenti dell'elettromagnetismo.

### b) formazione ingegneristica di base

- Il corso di *Fondamenti di informatica* fornisce le nozioni di base relative all'architettura dei sistemi di elaborazione e alla programmazione mediante linguaggi di livello superiore. A questo si accompagna il corso di *Calcolo numerico* che ha lo scopo di illustrare i metodi numerici fondamentali e le loro caratteristiche.

- Il corso di *Economia e organizzazione aziendale* presenta i principi e le applicazioni dell'organizzazione aziendale e delle tecniche aziendali nel quadro delle decisioni relative sia alla gestione operativa sia alla evoluzione ed allo sviluppo dell'impresa.
- Il corso di *Chimica* si propone di fornire le basi teoriche necessarie per la comprensione e l'interpretazione dei fenomeni chimici e di dare una breve rassegna delle proprietà degli elementi più comuni e dei loro principali composti.
- Il corso di *Fisica tecnica* ha come scopo di fornire le basi progettuali per l'illuminazione, l'acustica, la termodinamica dei fluidi e la trasmissione del calore.
- *Meccanica analitica* (1/2 unità didattica) e *Meccanica applicata alle macchine* insieme con l'acquisizione dei fondamenti della meccanica e dei relativi metodi matematici esaminano le leggi fondamentali dell'analisi funzionale di componenti meccanici e l'analisi dinamica dei sistemi meccanici.
- La formazione meccanica si completa con i corsi di *Disegno assistito dal calcolatore* (1/2 unità didattica) e *Costruzione di macchine* (1/2 unità didattica), e infine con un corso di *Macchine* in cui sono esposti i principi di funzionamento delle macchine a fluido, con approfondimento dei criteri di utilizzazione, di scelta e di esercizio delle macchine stesse.
- Per quanto riguarda la formazione nel campo degli aspetti strutturali, questa è affidata al corso di *Scienza delle costruzioni* che fornisce i fondamenti della teoria dell'elasticità, della teoria delle travi inflesse e dei problemi della stabilità e dell'equilibrio.

c) *formazione specialistica elettrica.*

- La formazione viene introdotta con i corsi di *Elettronica* ed *Elettrotecnica 2* che, dopo aver fornito le basi concettuali della teoria dei circuiti, approfondiscono tematiche di aspetto applicativo nel campo delle macchine e degli impianti elettrici. Accanto a questi il corso di *Scienza e tecnologia dei materiali elettrici* evidenzia, in funzione della loro utilizzazione in settori specifici, le proprietà dei più comuni materiali di interesse elettrotecnico.
- Il corso di *Macchine elettriche* analizza i fenomeni e i principi di funzionamento delle macchine elettriche e descrive le principali tecniche realizzative e di impiego delle stesse.
- Il corso di *Impianti elettrici I* ha lo scopo di rendere disponibile una descrizione completa e coordinata delle regole di progettazione, installazione, esercizio degli impianti di distribuzione di media e bassa tensione.

A integrazione della formazione svolta nei precedenti corsi sussistono ancora i seguenti insegnamenti:

- *Misure elettriche*, atto a fornire la base teorica e applicativa nel campo delle misure su apparecchiature e impianti elettrici a frequenza industriale.
- *Controlli automatici*, rivolto alla determinazione delle leggi del funzionamento dinamico e al progetto degli organi di controllo di sistemi.
- *Elettronica applicata*, destinata a fornire gli elementi di base nel funzionamento statico e dinamico di circuiti contenenti dispositivi elettronici.

### 3 Indirizzi e orientamenti

Il corso di laurea in *Ingegneria elettrica* si articola in due Indirizzi, a scelta dello studente: l'indirizzo *Automazione industriale* e l'indirizzo *Energia*.

L'indirizzo *Automazione industriale* presenta i corsi di:

- *Elettronica industriale di potenza*, tendente a fornire le basi di progetto dei circuiti elettronici per il comando in potenza di apparecchiature elettromeccaniche.
- *Azionamenti elettrici*, che analizza il comando di sistemi elettromeccanici aventi prerogative adatte al controllo di posizione, con particolare enfasi all'interazione tra macchina elettrica e struttura elettronica di potenza.
- *Modellistica di sistemi elettromeccanici*, che fornisce le conoscenze teoriche per il funzionamento delle macchine elettriche in transitorio o in regimi di alimentazione non convenzionale.

Questo Indirizzo presenta inoltre, a scelta dello studente, i seguenti orientamenti, ciascuno costituito dagli insegnamenti indicati con Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub> nella tabella 1:

Tabella 1 - Orientamenti indirizzo *Automazione industriale*

#### *Elettronica industriale*

- Y<sub>1</sub> H0290 : Applicazioni industriali elettriche [1. periodo didattico]  
 Y<sub>2</sub> H0391 : Azionamenti elettrici per l'automazione (applicativo) [2. periodo didattico]  
 Y<sub>3</sub> H0870 : Controllo digitale [2. pd]

#### *Automazione dei processi*

- Y<sub>1</sub> H0850 : Controllo dei processi [1. pd]  
 Y<sub>2</sub> H3690 : Misure per l'automazione e la produzione industriale [1. pd]  
 Y<sub>3</sub> H3460 : Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo [2. pd]

#### *Robotica*

- Y<sub>1</sub> H3280 : Meccanica dei robot [1. pd]  
 Y<sub>2</sub> H0392 : Azionamenti elettrici per l'automazione (teorico) [2. pd]  
 Y<sub>3</sub> H0391 : Azionamenti elettrici per l'automazione (applicativo) [2. pd]

#### *Azionamenti elettrici*

- Y<sub>1</sub> H0400 : Azionamenti per trazione elettrica [1. pd]  
 Y<sub>3</sub> H0391 : Azionamenti elettrici per l'automazione (applicativo) [2. pd]  
 Y<sub>2</sub> H0290 : Applicazioni industriali elettriche [1. pd]

#### *Tecnologico*

- Y<sub>1</sub> H1060 : Costruzioni elettromeccaniche [1. pd]  
 Y<sub>2</sub> H4700 : Sensori e trasduttori [1. pd]  
 Y<sub>3</sub> H5640 : Tecnologia meccanica [2. pd]

Gli insegnamenti elencati in ciascun orientamento costituiscono l'impostazione di base. È possibile, facendone esplicita richiesta nel piano di studio, sostituire, secondo criteri stabiliti dal Consiglio di Corso di Laurea, l'ultimo insegnamento di ciascun orientamento.

L'indirizzo *Energia* presenta i corsi di:

- *Elettronica industriale di potenza*, tendente a fornire le basi di progetto dei circuiti elettronici per il comando in potenza di apparecchiature elettromeccaniche.
- *Impianti elettrici 2*, che si propone di introdurre i concetti fondamentali per l'analisi e la gestione dei sistemi elettrici di produzione, di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica.
- *Sistemi elettrici per l'energia*, che si pone in prosecuzione del corso di *Impianti elettrici 2* e affronta lo studio del funzionamento transitorio e dinamico dei sistemi elettrici per l'energia.

Questo Indirizzo presenta inoltre, a scelta dello studente, i seguenti orientamenti, ciascuno costituito dagli insegnamenti indicati con Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub> nella tabella 2:

Tabella 2 - Orientamenti indirizzo *Energia*

*Impiantistico-professionale*

- Y<sub>1</sub> H5450 : Tecnica della sicurezza elettrica [1. periodo didattico]  
 Y<sub>2</sub> H2710 : Impianti elettrici a media e bassa tensione [2. periodo didattico]  
 Y<sub>3</sub> H1360 : Disciplina giuridica delle attività tecnicoingegneristiche [2. pd]

*Impiantistico-industriale*

- Y<sub>1</sub> H5450 : Tecnica della sicurezza elettrica [1. pd].  
 Y<sub>2</sub> H2710 : Impianti elettrici a media e bassa tensione [2. pd]  
 Y<sub>3</sub> M2370 : Gestione dei progetti di impianto [2. pd]

*Impiantistico-energetico*

- Y<sub>1</sub> H3090 : Localizzazione dei sistemi energetici [1. pd]  
 Y<sub>2</sub> H2800 : Impianti speciali idraulici [2. pd]  
 Y<sub>3</sub> H6000 : Termotecnica [2. pd]

*Sistemistico*

- Y<sub>1</sub> H4550 : Ricerca operativa [1. pd]  
 Y<sub>2</sub> H4880 : Sistemi di elaborazione [2. pd]  
 Y<sub>3</sub> H3460 : Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo [2. pd]

*Biomedico*

- Y<sub>1</sub> H5450 : Tecnica della sicurezza elettrica [1. pd]  
 Y<sub>2</sub> H1570 : Elaborazione di dati e segnali biomedici [2. pd]  
 Y<sub>3</sub> H0450 : Biomeccanica [2. pd]

Gli insegnamenti elencati in ciascun orientamento costituiscono l'impostazione di base. È possibile, facendone esplicita richiesta nel piano di studio, sostituire, secondo criteri stabiliti dal Consiglio di Corso di Laurea, *uno qualunque degli insegnamenti* di ciascun orientamento.

Nella formulazione di piani di studio individuali, per entrambi gli indirizzi, è possibile inserire un insegnamento tra quelli riportati nella seguente tabella:

Tabella discipline alternative

H0190 : Analisi dei sistemi [1. periodo didattico]  
H0350 : Automazione a fluido [1. pd]  
H2820 : Impianti termotecnici [2. periodo didattico]  
H3000 : Intelligenza artificiale [2. pd]  
H3500 : Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici [1. pd]  
H3640 : Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici [2. pd]  
H3770 : Modelli per l'organizzazione e la gestione dei sistemi [1. pd]  
H3800 : Modellistica e identificazione [1. pd]  
H3850 : Oleodinamica e pneumatica [2. pd]  
H5175 : Statistica aziendale + Marketing industriale (integrato) [2. pd]

#### 4 Tavola riassuntiva

La distribuzione degli insegnamenti è identica, fino al quarto anno, per ambedue gli indirizzi:

---

1:1 (1. anno, 1. periodo didattico)

H0231 : Analisi matematica 1

H0620 : Chimica

---

1:2 H2300 : Geometria

H1901 : Fisica 1

H2170 : Fondamenti di informatica

---

2:1 H0232 : Analisi matematica 2

H1902 : Fisica 2

H1530 : Economia ed organizzazione aziendale

---

2:2 H2060 : Fisica tecnica

H0510 : Calcolo numerico

H1791 : Elettrotecnica 1

---

3:1 H0234 : Analisi matematica 3 (ridotto)

H3204 : Meccanica analitica (ridotto)

H4600 : Scienza delle costruzioni

H4660 : Scienza e tecnologia dei materiali elettrici

---

3:2 H3210 : Meccanica applicata alle macchine

H1792 : Elettrotecnica 2

H1710 : Elettronica applicata

---

4:1 H3130 : Macchine elettriche

H3660 : Misure elettriche

H0840 : Controlli automatici

---

4:2 H3110 : Macchine

H2701 : Impianti elettrici 1

H1385 : Disegno assistito dal calcolatore + Costruzione di macchine (integrato)

---

Quinto anno, indirizzo *Automazione industriale*:

---

5:1 H1770 : Elettronica industriale di potenza  
H3780 : Modellistica di sistemi elettromeccanici  
Y<sub>1</sub>  
Y<sub>2</sub>

---

5:2 H0380 : Azionamenti elettrici  
Y<sub>2</sub>  
Y<sub>3</sub>

---

Le lettere Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub> si riferiscono ai tre corsi specificati negli orientamenti ufficiali. I corsi contrassegnati con Y<sub>1</sub> e Y<sub>3</sub> sono collocati rispettivamente nel 1. e nel 2. periodo didattico per tutti gli orientamenti. Il corso Y<sub>2</sub> può trovarsi al 1. o al 2. periodo didattico a seconda dell'orientamento scelto.

Quinto anno, indirizzo *Energia*:

---

5:1 H1770 : Elettronica industriale di potenza  
H2702 : Impianti elettrici 2  
Y<sub>1</sub>

---

5:2 H4980 : Sistemi elettrici per l'energia  
Y<sub>2</sub>  
Y<sub>3</sub>

---

Le lettere Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub> si riferiscono ai tre corsi specificati negli orientamenti ufficiali.



# Programmi degli insegnamenti

*I programmi sono riportati in ordine di anno e periodo didattico (a parità, in ordine alfabetico): a questa sezione seguono gli indici alfabetici generali, per titoli degli insegnamenti e per nomi dei docenti. Nell'intestazione ai singoli corsi, dove i titolari del corso siano più d'uno e afferenti ad uno stesso dipartimento, il nome del dipartimento non viene ripetuto.*

*La presente Guida è andata in stampa il 1993-07-16, e quanto riportato è da ritenersi aggiornato a quella data. La ristrettezza dei tempi di edizione non ha permesso di sottoporre all'attenzione dei singoli docenti i testi che seguono per una finale revisione: il CIDEM si scusa con docenti e studenti per eventuali sviste ed errori residui, assumendosene la responsabilità, e ringrazia anticipatamente coloro che vorranno segnalarli.*

## H 0231      Analisi matematica 1

Anno:periodo 1:1 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 48 (settimanali 6/4)

Prof. Renato Ascoli (Matematica)

Il corso si propone di fornire allo studente gli elementi di base del calcolo infinitesimale per una metodologia di lavoro che lo avvii da un lato a utilizzare criticamente gli strumenti acquisiti, dall'altro a collegare (attraverso applicazioni a problemi di fisica e ingegneria) i corsi di matematica ai successivi corsi di indirizzo.

**REQUISITI.** Sono le nozioni fondamentali di algebra, geometria, trigonometria e di calcolo dei logaritmi della scuola media superiore.

### PROGRAMMA.

Teoria degli insiemi.

Insiemi di numeri e loro proprietà: interi, razionali, reali.

Elementi di geometria analitica piana.

Limiti di funzioni di variabile reale.

Successioni.

Continuità e derivabilità.

Proprietà delle funzioni continue e delle funzioni derivabili in un intervallo.

Funzioni elementari.

Sviluppi di Taylor.

Integrali definiti.

Integrazione definita.

Integrali impropri.

Equazioni differenziali del primo ordine (risoluzione di equazioni a variabili separabili, omogenee e lineari).

## H 0620 Chimica

Anno: periodo 1:1 Impegno (ore): lezioni 85 esercitazioni 30 (settimanali 6/2)

Prof. Emma Angelini (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di fornire le basi teoriche necessarie per la comprensione e l'interpretazione dei fenomeni chimici e di dare una breve rassegna delle proprietà degli elementi più comuni e dei loro principali composti. Esso si articola di conseguenza in tre parti: una di chimica generale alla quale vengono dedicate circa 60 ore di lezione; una di chimica inorganica (circa 20 ore di lezione) ed una di chimica organica (5-10 ore di lezione).

### PROGRAMMA

#### *Chimica generale.*

Concetti di base. Leggi fondamentali della chimica e nomenclatura.

Il sistema periodico degli elementi. L'atomo secondo i modelli classici e quantomeccanici.

Legami chimici intra e intermolecolari.

Elementi di radiochimica.

Stato gassoso. Stato solido. Stato liquido. Caratteristiche delle soluzioni di non elettroliti.

Termochimica. Entropia ed energia libera di reazione. Velocità di reazione. Catalisi. L'equilibrio chimico.

Regola delle fasi. Diagrammi di stato.

Soluzioni di elettroliti. Acidi e basi. *pH*. Idrolisi.

Cenni di elettrochimica.

#### *Chimica inorganica.*

Proprietà e metodi di preparazione dei seguenti elementi e dei loro principali composti: idrogeno, ossigeno, sodio, rame, calcio, zinco, alluminio, carbonio, silicio, azoto, fosforo, cromo, uranio, zolfo, manganese, alogeni, ferro.

*Chimica Organica.* Cenni sugli idrocarburi saturi ed insaturi e sulle più importanti famiglie di composti organici.

### BIBLIOGRAFIA

C. Brisi, V. Cirilli, *Chimica generale ed inorganica*, Levrotto e Bella, Torino.

C. Brisi, *Esercitazioni di chimica*, Levrotto e Bella, Torino.

M. Montorsi, *Appunti di chimica organica*, CELID, Torino.

## H 1901      Fisica 1

Anno: periodo 1:2 Impegno (ore): lezioni 75 esercitazioni 25

Prof. Alfredo Strigazzi (Fisica)

Il corso si propone di fornire gli elementi di base necessari per la comprensione della meccanica del punto e dei sistemi, con particolare riguardo al corpo rigido ed ai fluidi, dell'ottica geometrica in sistemi ottici centrati, della fisica matematica del campo gravitazionale e coulombiano, e dell'elettrostatica nel vuoto.

### PROGRAMMA

#### *Metrologia.*

Misurazione e incertezza. Sistemi di unità di misura. Analisi dimensionale. Metodo dei minimi quadrati.

#### *Cinematica del punto.*

Moto rettilineo e curvilineo. Moto relativo (classico e relativistico) e covarianza delle leggi fisiche. Riferimenti inerziali e non inerziali.

#### *Dinamica del punto.*

Tre principi di Newton. Forze d'inerzia (pseudo-forze). Interazioni: gravitazionale, elettrostatica, elastica. Vincoli e attrito radente (statico e dinamico). Attrito del mezzo (viscoso e idraulico). Lavoro, potenza. Teorema lavoro – energia cinetica.

#### *Statica del punto.*

#### *Campi conservativi.*

Gradiente. Potenziale. Energia potenziale. Conservazione dell'energia meccanica. Teorema di Stokes. Teorema e legge di Gauss. Campo gravitazionale e coulombiano. Equazione di Poisson.

*Oscillazioni:* armonica semplice, smorzata, forzata. Risonanza. Oscillatore anarmonico.

#### *Dinamica dei sistemi.*

Centro di massa. Prima equazione cardinale. Conservazione della quantità di moto. Seconda equazione cardinale. Conservazione del momento angolare. Corpo rigido. Assi principali d'inerzia. Giroscopio.

#### *Statica dei sistemi.*

#### *Meccanica dei fluidi.*

Legge di Stevino. Legge di Archimede. Equazione di continuità. Teorema di Bernoulli. Tensione superficiale.

#### *Onde elastiche.*

#### *Ottica geometrica.*

#### *Elettrostatica nel vuoto.*

Potenziale di una carica e di un dipolo. Conduttori in equilibrio. Cariche in moto in un campo elettrostatico.

**ESERCITAZIONI.** In aula: esercizi applicativi sul programma del corso.

In laboratorio (*computer on-line*): misurazione di spostamenti e velocità in caduta libera, e dell'accelerazione di gravità; misurazione del periodo del pendolo semplice in funzione della lunghezza e dell'elongazione.

### BIBLIOGRAFIA

P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci, *Fisica*, vol. 1, SES, Napoli, 1991.

R. Resnick, D. Halliday, *Fisica*, parte I., Ambrosiana, Milano, 1982).

C. Mencuccini, V. Silvestrini, *Fisica*, Liguori, Napoli, 1987.

D.E. Roller, R. Blum, *Fisica*, volumi 1 e 2, Zanichelli, Bologna, 1984.

S. Rosati, *Fisica generale*, parte I., Ambrosiana, Milano, 1978.

M. Alonso, E. J. Finn, *Elementi di fisica per l'università*, vol. 1, Masson, Milano, 1982.

## H 2170 Fondamenti di informatica

Anno: periodo 1:2 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 28 laboratori 56 (settimanali 6/2/4)

Prof. Piero Demichelis (Automatica e informatica)

Il corso intende fornire agli allievi i fondamenti dell'informatica sia sotto l'aspetto dello *hardware* che dello *software*. Particolare importanza viene data ai principi della programmazione mediante l'uso di linguaggi evoluti quali il Pascal. Vengono inoltre fornite nozioni introduttive sulla struttura degli elaboratori e sulla rappresentazione dell'informazione al loro interno.

### PROGRAMMA

La prima parte del corso è rivolta ad illustrare la rappresentazione, all'interno degli elaboratori, dell'informazione numerica (numeri in virgola fissa e mobile) e non numerica (codici), le operazioni algebriche fondamentali in binario, i principi dell'algebra di Boole e l'applicazione dei teoremi alla minimizzazione delle espressioni logiche.

Successivamente si passa a descrivere la struttura del calcolatore (unità centrale, memoria centrale e memorie di massa) e le tecniche di interconnessione con i dispositivi periferici.

Si affronta poi, anche se in modo non approfondito, il funzionamento del calcolatore, il linguaggio macchina, l'*assembler* e i principali componenti *software*: il sistema operativo (in generale, e l'MS-DOS in particolare), i compilatori, i programmi di servizio e i programmi applicativi.

Si forniscono infine i principi della programmazione strutturata utilizzando il linguaggio Pascal e, nella parte conclusiva del corso, si illustrano alcuni algoritmi di uso comune, quali quelli di *sort* e *merge* dei dati, quelli ricorsivi, quelli per la visita di alberi binari, ecc.

**ESERCITAZIONI.** Sono previste esercitazioni di programmazione in Pascal in aula e sugli elaboratori del Laboratorio di Informatica di Base.

### BIBLIOGRAFIA

P. Demichelis, E. Piccolo, *Informatica di base, Fortran 77 e Pascal*, Levrotto & Bella, Torino, 1987.

E. Piccolo, E. Macii, *Fondamenti di informatica : testi d'esame ed esercizi svolti*, 2. ed., Levrotto & Bella, Torino, 1992.

E. Piccolo, *Tecniche di base e tecniche avanzate per l'uso del Personal Computer*, CLUT, Torino, 1992.

P. Prinetto, *Fondamenti di informatica : lucidi*, Levrotto & Bella, Torino, 1991.

P. Demichelis, E. Piccolo, *Pascal : trasparenze*, CLUT, Torino, 1992.

K. Jensen, N. Wirth, *Pascal user manual and report : ISO Pascal standard*, 3rd ed., Springer, New York, 1985.

M. Mezzalama, N. Montefusco, P. Prinetto, *Aritmetica dei calcolatori e codifica dell'informazione*, UTET, Torino, 1988.

## H 2300 Geometria

Anno:periodo 1:2 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 4

Prof. Luisella Caire (Matematica)

Il corso si propone di fornire alcuni strumenti algebrici e geometrici di base, in stretto collegamento con le loro applicazioni alla fisica e all'ingegneria.

### PROGRAMMA

Calcolo vettoriale.

Numeri complessi (inclusi fattorizzazione di polinomi ed esponenziale complesso).

Geometria analitica del piano. Coniche.

Geometria analitica dello spazio. Quadriche, coni, cilindri e superfici di rotazione.

Geometria differenziale delle curve.

Spazi vettoriali.

Calcolo matriciale.

Sistemi lineari.

Applicazioni lineari.

Autovalori e autovettori.

Forma canonica di Jordan.

Sistemi di equazioni differenziali lineari del primo ordine a coefficienti costanti.

Equazioni differenziali lineari di ordine  $n$  a coefficienti costanti.

Spazi reali con prodotto scalare. Forme quadratiche.

### BIBLIOGRAFIA

S. Greco, P. Valabrega, *Lezioni di matematica per allievi ingegneri*, Levrotto & Bella, Torino, 1992.

S. Greco, P. Valabrega, *Esercizi risolti*, Levrotto & Bella, Torino, 1992.

## H 0232      Analisi matematica 2

Anno:periodo 2:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 4

Docente da nominare (Matematica)

Il corso si propone di completare la formazione matematica di base dello studente, con particolare riferimento al calcolo differenziale e integrali in più variabili, alla risoluzione delle equazioni e dei sistemi differenziali ed ai metodi di sviluppo in serie.

**REQUISITI.** Si richiede allo studente il possesso dei metodi di calcolo e delle considerazioni di carattere teorico forniti dai corsi di *Analisi matematica* e di *Geometria*.

### PROGRAMMA

Funzioni continue di più variabili.  
Calcolo differenziali in più variabili.  
Calcolo differenziale su curve e superfici.  
Integrali multipli.  
Integrali su curve e superfici.  
Spazi vettoriali normati e successioni di funzioni.  
Serie numeriche e serie di funzioni.  
Serie di potenze.  
Serie di Fourier.  
Equazioni e sistemi differenziali.

### BIBLIOGRAFIA.

A. Bacciotti, F. Ricci, *Lezioni di Analisi matematica II*, Levrotto & Bella, Torino, (nuova edizione) 1991.  
M. Leschiutta, P. Moroni, J. Vacca, *Esercizi di matematica*, Levrotto & Bella, Torino, 1982

## H 1530      Economia ed organizzazione aziendale

Anno:periodo 2:1 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 52 (settimanali 4/4)

Docente da nominare (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienda)

Il corso, dopo aver inquadrato l'azienda nel contesto economico in cui essa opera, passa ad esaminarla sotto il duplice aspetto della struttura di proprietà e della struttura organizzativa che ne consentono la gestione coordinata e finalizzata.

Sono quindi studiati i principali strumenti di governo dell'azienda, dal *budget* al bilancio, passando attraverso i modelli previsionali e la programmazione ed il controllo della produzione.

### PROGRAMMA

Questioni economiche generali.  
Mercati (perfetto, monopolistico, di concorrenza monopolistica, oligopolistico).  
Moderne teorie dell'impresa (neo-istituzionalista, manageriale, comportamentista).  
Proprietà e controllo dell'impresa (società di lucro, gruppi di imprese, imprese pubbliche).  
Processo decisionale e sistema informativo.

Organizzazione e strutture organizzative.  
Contabilità generale, bilanci preventivo e consuntivo.  
Modelli previsionali.  
Analisi degli investimenti e gestione dei progetti.  
Programmazione e controllo della produzione.

### ESERCITAZIONI

Applicazioni di metodi quantitativi alla soluzione di problemi gestionali.

## H 1902      Fisica 2

Anno: periodo 2:1 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 28 laboratori 12 (settimanali 6/2/2)

Prof. Angelo Tartaglia (Fisica)

La prima parte del corso è dedicata allo studio dell'elettromagnetismo classico nel vuoto e nella materia a partire dai fenomeni di polarizzazione nei dielettrici alla teoria delle onde elettromagnetiche e all'ottica ondulatoria (interferenza, diffrazione, polarizzazione delle onde).

La seconda parte introduce i fondamenti della meccanica quantistica e le leggi generali della termodinamica, trattate secondo l'approccio statistico.

### PROGRAMMA

Campo elettrico in presenza di un dielettrico. Polarizzazione dei dielettrici. Correnti elettriche in regime stazionario. Legge di Ohm. Effetto Joule. Principi di Kirchhoff.

Il campo magnetico statico. La forza di Lorentz. L'amperometro. La legge di Ampère-Laplace. Paramagnetismo; ferromagnetismo; diamagnetismo.

Fenomeni induttivi. Equazioni di Maxwell. Onde elettromagnetiche.

Quantizzazione dell'energia elettromagnetica: l'effetto fotoelettrico; l'effetto Compton.

Propagazione delle onde. Effetto Doppler. Composizione di onde. Battimenti.

Interferenza tra due onde. Fenomeni di diffrazione. Polarizzazione della luce.

Principi e fondamenti della meccanica quantistica. Equazione di Schrödinger. Equazione di Klein-Gordon.

Principi di meccanica statistica. Il primo e il secondo principio della termodinamica.

Il gas perfetto. Il gas reale.

Statistiche di Fermi e di Bose. Gas quantici. Gas di fotoni; il corpo nero.

### BIBLIOGRAFIA.

A. Tartaglia, *Dall'elettrone all'entropia*, Levrotto & Bella, Torino, 1992.

A. Tartaglia, *300 esercizi svolti di elettromagnetismo e ottica*, Levrotto & Bella, Torino, 1986.

## H 0510 Calcolo numerico

Anno: periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 74 esercitazioni 26 (settimanali 6/2)

Prof. Paola Moroni (Matematica)

Il corso ha lo scopo di illustrare i metodi numerici di base e le loro caratteristiche (condizioni di applicabilità, efficienza sia in termini di complessità computazionale che di occupazione di memoria) e di mettere gli studenti in grado di utilizzare librerie scientifiche (IMSL, NAG) per la risoluzione di problemi numerici.

**REQUISITI.** *Analisi 1, Geometria, Fondamenti di informatica.*

### PROGRAMMA

1. Preliminari. Condizionamento di un problema e stabilità di un algoritmo.
2. Risoluzione di sistemi lineari. Metodo di Gauss; fattorizzazione di una matrice e sue applicazioni; metodi iterativi.
3. Calcolo degli autovalori di una matrice.
4. Approssimazioni di funzioni e di dati sperimentali. Interpolazione con polinomi algebrici e con funzioni *spline*. Minimi quadrati. Derivazione numerica.
5. Equazioni e sistemi di equazioni non lineari: metodo di Newton e sue varianti. Processi iterativi in generale. Problemi di ottimizzazione.
6. Calcolo di integrali. Formule di Newton-Cotes. Definizione e proprietà principali dei polinomi ortogonali. Formule gaussiane. *Routines* automatiche. Cenni sul caso multidimensionale.
7. Equazioni differenziali ordinarie per problemi ai valori iniziali. Metodi *one-step* e *multistep*. Stabilità dei metodi. Sistemi *stiff*.
8. Equazioni differenziali alle derivate parziali. Metodi alle differenze finite.

### BIBLIOGRAFIA

G. Monegato, *Fondamenti di calcolo numerico*, Levrotto & Bella, Torino, 1990.

## H 1791 Elettrotecnica 1

Anno: periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 28 (settimanali 6/2)

Prof. Pier Paolo Civalleri (Elettronica)

Il corso ha lo scopo di esporre la teoria dei circuiti analogici in regime stazionario e quasi stazionario limitatamente ai problemi di analisi.

**REQUISITI.** *Analisi matematica 1 e 2, Geometria, Fisica 1 e 2.*

### PROGRAMMA

#### 1. Fondamenti.

Preliminari.

Gli elementi di circuito ideali. Resistore. Induttore. Condensatore. Generatori. Generatori controllati. Trasformatore. Giratore.

I principi di Kirchhoff.

Stesura delle equazioni di rete.

Reti bipolari.



Descrizione degli elementi reali dal punto di vista della teoria delle reti. Resistori. Induttori. Condensatori. Generatori. Trasformatori. Diodi. Transistori. Energia e potenza. Generalità. Applicazione agli elementi di circuito reali.

## 2. Il metodo simbolico.

Esempi semplici.

Il metodo generale. Equazioni ai nodi, alle maglie e tensione corrente per gli elementi di rete. Impedenza e ammettenza di un bipolo.

Potenza ed energia in corrente alternata, significato del valore efficace. Potenza attiva, reattiva, apparente e potenza complessa. Applicazioni. Valori efficaci.

Ulteriori esempi. Il circuito oscillante. Rete per trasformare una *fem* in una corrente impressa.

## 3. Procedimenti generali per l'analisi delle reti.

Analisi con il metodo delle correnti di maglia. Osservazioni preliminari. Concetti topologici, scelta di correnti indipendenti. Correnti di maglia. Applicazioni della regola delle maglie. L'analisi con il metodo delle maglie nel caso di una rete piana. Considerazioni sui generatori di corrente, i generatori pilotati e i trasformatori.

Esempi.

Il metodo dei potenziali ai nodi. Scelta di un sistema di tensioni indipendenti. Applicazione della regola dei nodi. Considerazioni sui generatori di tensione, i generatori pilotati e i trasformatori. Esempi. La regola delle sezioni. La matrice di incidenza.

Il procedimento di analisi in forma matriciale. Forma matriciale del procedimento delle maglie. Forma matriciale del procedimento delle sezioni.

Il procedimento dello spazio degli stati. Fondamenti topologici. Relazioni tensione-corrente. Descrizione nello spazio degli stati. Complementi e ulteriori considerazioni sui trasformatori e sui generatori pilotati.

Conclusioni.

## 4. Teoremi sulle reti.

Il principio di sovrapposizione. Formulazione generale. Esempi.

I teoremi dei generatori equivalenti. Il teorema del generatore di tensione equivalente (Helmholtz–Thévenin). Il teorema del generatore di corrente equivalente (Mayer–Norton). Esempi.

Il teorema di compensazione. Semplici trasformazioni di rete. La compensazione. Una applicazione.

Il teorema di Tellegen. Dimostrazione. Il teorema di reciprocità.

Il teorema della massima potenza trasferita.

## 5. Reti multipolari.

Relazione tensioni–correnti ai terminali di una rete multipolare. Formulazione generale. Esempi. *N*-porte. Il caso generale. Due porte (quadrupoli).

Applicazioni. La trasformazione stella–triangolo. Sistemi trifasi.

Descrizione delle funzioni di rete mediante curve luogo. Osservazioni preliminari. La trasformazione lineare fratta. Esempi. Complementi.

Eccitazione periodica non sinusoidale. Descrizione delle funzioni periodiche mediante la serie di Fourier. Risposta stazionaria all'eccitazione periodica. Esempi. Potenza e valore efficace.

## 6. Processi transitori nelle reti.

Osservazioni preliminari.

Processi transitori in reti semplici. Il transitorio in un bipolo RL. Complementi sul comportamento transitorio di un bipolo RL. Il comportamento transitorio di un bipolo RC. Il comportamento transitorio di un circuito oscillante. Determinazione intuitiva

elementare del transitorio con eccitazione a gradino. Alimentazione con diversi generatori, metodo di sovrapposizione. Comportamento stazionario di reti semplici con eccitazione periodica.

Transitori nelle reti generali. Concetti basilari. Soluzione del sistema di equazioni omogeneo. Soluzione del sistema di equazioni non omogeneo. Esempi.

Il concetto di frequenza complessa. La funzione di trasferimento. Funzione di trasferimento e autovalori, descrizione mediante zeri e poli.

Stabilità delle reti. Il criterio di stabilità di Hurwitz. Esempi.

Applicazione della trasformazione di Laplace alla determinazione del comportamento transitorio delle reti. La trasformazione di Laplace. Esempi di trasformazione di Laplace, proprietà generali. Soluzione del sistema di equazioni. Funzione di trasferimento e comportamento transitorio. Transitorio di un trasformatore, principio di sovrapposizione. Soluzione delle equazioni alle maglie e alle sezioni con il metodo della trasformata di Laplace. Soluzione delle equazioni di stato con il metodo della trasformata di Laplace. Reti degeneri.

### 7. Complementi e panoramica generale.

Complementi. Reti lineari invariabili nel tempo e reti non lineari.

Panoramica. Supporti informatici dell'analisi delle reti.

### BIBLIOGRAFIA

Pier Paolo Civalleri, *Elettrotecnica*, Torino, Levrotto & Bella, 1986.

K. Küpfmüller, *Einführung in die theoretische Elektrotechnik*, Berlin, Springer, 1979.

G. Someda, *Elementi di elettrotecnica*, Padova, CEDAM, 1980.

## H 2060 Fisica tecnica

Anno: periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 40 laboratori 4 (settimanali 4/4)

Prof. Michele Calì (Energetica)

Nella prima parte del corso si illustrano agli allievi i fondamenti della termodinamica elementare applicata ai sistemi che rivestono interesse per gli ingegneri, con particolare attenzione alle macchine energetiche. Seguono lo studio della termodinamica dei sistemi continui applicata ai fenomeni di trasmissione del calore e alcuni elementi di fotometria e di illuminotecnica. Insieme ai fondamenti teorici si forniscono gli strumenti di analisi e di calcolo per sviluppare in modo completo progetti reali.

### PROGRAMMA

#### *Termodinamica.*

Scopo e cenni storici. Definizioni. Lavoro e calore. Il primo e il secondo principio delle termodinamica per sistemi chiusi e aperti. Energia interna, entalpia ed entropia. Il teorema dell'exergia. Le relazioni analitiche fondamentali. Le trasformazioni di Joule e di Joule-Thomson. Le equazioni di stato principali. I cambiamenti di stato. Rappresentazioni e diagrammi termodinamici. I cicli ideali a gas e vapore di Stirling, Otto, Diesel, Joule, Rankine, e Hirn.

Le centrali termoelettriche e gli impianti di cogenerazione. Cicli inversi per frigoriferi e pompe di calore. Miscele di gas e sostanze condensabili e climatizzazione ambientale.

La termodinamica dei sistemi continui. Definizioni e proprietà matematiche. Le equazioni fondamentali in forma differenziale ed integrale per la massa, quantità di moto, energia ed entropia.

*Trasmissione del calore, fluidodinamica e termocinetica.*

La conduzione del calore. Le equazioni fondamentali e le proprietà termiche dei materiali. I metodi analitici e numerici: le alette. Gli effetti termoelettrici.

*Il moto dei fluidi isotermini.*

Viscosità. Regimi di moto laminare e turbolento. Strato limite delle velocità. Attrito sulle lastre piane e nei condotti. Efflussi di Fanno e Raleygh e attraverso gli ugelli convergenti e divergenti. Le equazioni per i fluidi viscosi. Equazioni di Navier-Stokes.

La convezione forzata e naturale. Il metodo delle analogie. Teoria dimensionale. Le relazioni empiriche più comuni.

*L'irraggiamento.*

Definizioni. Il corpo nero. Le proprietà emissive della materia ed i corpi grigi. Irraggiamento tra corpi neri e grigi. L'utilizzazione dell'energia solare.

*Termotecnica.*

I camini. Gli scambiatori di calore. Cenni ai problemi della climatizzazione ambientale. Gli impianti di riscaldamento e condizionamento. La normativa vigente.

*Illuminotecnica.*

Fondamenti di fotometria e unità di misura. La colorimetria. Le sorgenti artificiali di luce. Calcoli di illuminamento in ambienti liberi e confinati da sorgenti puntiformi ed estese.

**ESERCITAZIONI**

Esercizi svolti in aula sui temi trattati a lezione. Termodinamica: calcolo completo dei cicli termodinamici per una centrale di cogenerazione a gas (ciclo Joule) e a vapore (ciclo Rankine in contropressione). Trasmissione del calore: calcolo termico e fluidodinamica di un generatore di vapore.

LABORATORI. Misure psicrometriche, di conduttività termica e fotometriche.

**BIBLIOGRAFIA**

Appunti delle lezioni.

C. Boffa, P. Gregorio, *Elementi di fisica tecnica*, Levrotto & Bella, Torino, 1974

C. Bonacina, A. Cavallini, L. Mattarolo, *Trasmissione del calore*, CLEUP, Padova, 1985.

P. Brunelli, C. Codegone, *Trattato di fisica tecnica*, Giorgio, Torino, 1974.

A. Cavallini, L. Mattarolo, *Termodinamica applicata*, CLEUP, Padova, 1990.

P. Gregorio, *Esercizi di fisica tecnica*, Levrotto & Bella, Torino.

V.A. Kirillin, V.V. Sycev, E. Sejdlin, *Termodinamica tecnica*, Ed. Riuniti, Roma, 1980.

D.R. Owen, *A first course in the mathematical foundations of thermodynamics*, Springer, New York, 1984.

M.W. Zemansky, M.M. Abbott, H.C. Van Ness, *Fondamenti di termodinamica per ingegneri*, Zanichelli, Bologna.

**H 4880 Sistemi di elaborazione**

Anno:periodo 2:2 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 2

Prof. Pier Luca Montessoro (Automatica e informatica)

Il corso consiste in un'ampia panoramica sulle tematiche fondamentali dello *hardware*, del *software* e dell'organizzazione di sistemi complessi di elaborazione dell'informazione. Si propone il duplice obiettivo di approfondire le conoscenze informatiche generali acquisite nell'ambito del corso *Fondamenti di informatica* per dotare gli allievi di una solida "cultura informatica", e di fornire una conoscenza di base delle applicazioni dell'informatica nell'industria.

REQUISITI. *Fondamenti di informatica*

## PROGRAMMA

## Hardware e software di base.

- Tecnologie informatiche: vengono analizzate le moderne tecnologie informatiche, con riferimento sia alle unità centrali di elaborazione, sia ai dispositivi periferici, quali unità di *backup*, stampanti, *scanner*, ecc.
- Tecnologie dal punto di vista dell'utente: vengono discusse le caratteristiche, i criteri di impiego ed i diversi aspetti dei sistemi operativi e del *software* di base per *home computer*, *personal computer*, *workstation*, *mini*, *mainframe* e calcolatori per elaborazioni massicce, sia transazionali, sia per il calcolo scientifico.
- Tecnologie dal punto di vista dell'architettura: vengono approfonditi gli aspetti architetturali di macchine a microprocessore, RISC, CISC, *superscalar*. Vengono anche presentate architetture parallele e vettoriali, quali Ncube, Connection Machine, VAX cluster; Cray, VAX 9000.

## Sistemi transazionali e database.

- Sistemi transazionali: vengono analizzate le caratteristiche, le possibili architetture ed i criteri di progetto, sia per sistemi concentrati che distribuiti.
- La consistenza dei dati: vengono introdotti i principi di atomicità delle transazioni, ridondanza e *recovery*. Sono analizzate le principali tecniche di *recovery* ed il protocollo *two phase commit* per transazioni distribuite.
- Database: vengono discusse le caratteristiche dei principali tipi di database: relazionale, gerarchico, reticolare. L'approccio relazionale viene quindi approfondito introducendo gli operatori complessi di manipolazione dei dati, il linguaggio SQL e cenni di teoria della normalizzazione.

## Reti di calcolatori

- Reti locali (LAN), metropolitane (MAN), geografiche (WAN). Servizi di rete. Supporti fisici per i collegamenti dati. Collegamenti punto-punto: i *modem*. Lo standard ISO/OSI. Esempi di reti locali commerciali: Ethernet, FDDI.

*Desktop publishing*: principi base, integrazione di *word processing* e grafica, il linguaggio PostScript.

## ESERCITAZIONI

Sono previste esercitazioni su *personal computer* in aula e presso i Laboratori Informatici di Base sui seguenti argomenti:

Ambiente Microsoft Windows. Fogli elettronici. Ambienti di sviluppo *software object oriented* per applicazioni Windows. Linguaggio SQL. *Desktop publishing*.

## BIBLIOGRAFIA

P.L. Montessoro, *Appunti di sistemi di elaborazione*, Levrotto & Bella, Torino, 1992.

C.J. Date, *An introduction to database systems*, vol. 1-2, Addison-Wesley.

Andrew S. Tanenbaum, *Computer networks*, 2nd ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1988

*Microsoft Excel User Manual*, Microsoft.

## H 0234      **Analisi matematica 3**

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno: periodo 3:1    Impegno (ore): lezioni 40 esercitazioni 10

Prof. Giancarlo Teppati (Matematica)

Scopo del corso è quello di familiarizzare lo studente con alcune tecniche matematiche avanzate di uso frequente nell'ingegneria; in particolare l'analisi complessa e le trasformate di Fourier e di Laplace.

REQUISITI. *Analisi matematica 2.*

### PROGRAMMA

#### *Funzioni analitiche:*

- Derivabilità, condizioni di Cauchy-Riemann, integrabilità.
- Teorema di Cauchy, teorema dei residui, calcolo del residuo in singolarità polari, calcolo di integrali con il metodo dei residui, lemma del grande cerchio e di Jordan.
- Formule integrali di Cauchy.
- Sviluppabilità in serie di Taylor.
- Principi di identità.
- Comportamento locale: sviluppi di Laurent, classificazione delle singolarità isolate.
- Punto all'infinito e piano di Gauss.
- Alcuni tipi di comportamento globale: funzioni intere, teorema di Liouville; funzioni meromorfe.
- Calcolo dei coefficienti nella decomposizione in fratti semplici.
- Funzioni analitiche e funzioni armoniche. Teorema della media di Gauss.
- Trasformazioni analitiche di regioni piane.

#### *Funzioni trascendenti non elementari.*

#### *Concetti introduttivi sulle trasformate integrali:*

- Introduzione alla trasformazione e antitrasformazione di Fourier; proprietà di simmetria.
- Proprietà delle trasformate di Fourier e di Laplace; linearità, coniugazione complessa, cambio di scala, traslazione temporale, traslazione frequenziale, derivata temporale, convoluzione frequenziale.
- Trasformate di Fourier di funzioni reali, immaginarie, pari e dispari, trasformate di Fourier di funzioni periodiche.
- Distribuzioni a crescita lenta e trasformate di Fourier.
- Trasformate e antitrasformate fondamentali di Laplace di funzioni e di distribuzioni.

### BIBLIOGRAFIA

G. Teppati, *Complementi di matematica*, Vol. 1 e 2, Levrotto & Bella, Torino, 1981-2.

## H 3204 Meccanica analitica

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno: periodo 3:1 Impegno (ore): lezioni 34 esercitazioni 15 (settimanali 6/4)

Prof. Franco Piazzese (Matematica)

Il corso, presentando i fondamenti della meccanica analitica, offre agli studenti un collegamento di natura concettuale fra la meccanica classica e alcuni importanti argomenti della fisica moderna, conducendoli, in particolare, alle soglie della meccanica quantistica e della moderna meccanica statistica.

### PROGRAMMA

Richiami sulla meccanica del punto e dei sistemi di punti. Vincoli. Principio dei lavori virtuali ed equazioni di Lagrange. Potenziali dipendenti dalla velocità e funzione di dissipazione.

Principio di Hamilton. Deduzione delle equazioni di Lagrange dal principio di Hamilton. Estensione del principio di Hamilton a sistemi non conservativi e non olonomi. Teoremi di conservazione e proprietà di simmetria.

Trasformazioni di Legendre ed equazioni del moto di Hamilton. Teoremi di conservazione e significato fisico dell'hamiltoniana. Deduzione delle equazioni di Hamilton da un principio variazionale (principio di Hamilton modificato). Principio di minima azione di Maupertuis.

Analogia formale con il principio di Fermat dell'ottica geometrica. Trasformazioni canoniche. Parentesi di Poisson.

Trasformazioni canoniche infinitesime, costanti del moto e proprietà di simmetria. Invarianza canonica dell'estensione in fase. Approccio probabilistico: il concetto di *ensemble* e il teorema di Liouville.

### BIBLIOGRAFIA.

H. Goldstein, *Classical mechanics*, 2nd ed., Addison-Wesley, 1980.

H. Goldstein, *Meccanica classica*, Zanichelli, Bologna. (NB: è preferibile la versione inglese, in quanto quella italiana è la traduzione della prima edizione, 1950).

C. Cercignani, *Spazio, tempo, movimento*, Zanichelli, Bologna, 1976.

## H 4600 Scienza delle costruzioni

Anno: periodo 3:1 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 56 (settimanali 5/4)

Prof. Enrico Ballatore (Ing. strutturale)

La meccanica dei solidi elastici lineari viene trattata deducendo le equazioni di equilibrio e di congruenza e le leggi costitutive nella formulazione generale del solido tridimensionale che viene quindi particolarizzata per il caso bidimensionale (lastre o piastre) e unidimensionale (travi).

Le relazioni analitiche saranno estese alle applicazioni numeriche con particolare riguardo al metodo degli elementi finiti, di cui saranno fornite rigorose basi concettuali. La teoria dei sistemi di travi viene trattata sotto il duplice aspetto statico e cinematico. L'equilibrio delle strutture isostatiche è interpretato sia sul piano algebrico che su quello grafico ed in tale contesto vengono definite le caratteristiche interne della sollecitazione. La soluzione delle strutture iperstatiche viene proposta in linea generale applicando sia il metodo delle forze (o della congruenza) che quello degli spostamenti (o dell'equilibrio).

Le soluzioni trovate saranno quindi espresse in formulazione matriciale particolarmente utile per eseguire in maniera automatica il calcolo dei sistemi a molti gradi di iperstaticità.

La soluzione del problema dei telai piani (sia a nodi fissi che a nodi spostabili) viene esposta con due metodi alternativi: il cosiddetto "metodo dei telai piani" (secondo il quale si svincola la struttura introducendo cerniere in tutti i nodi-incastro) e l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

Infine vengono descritti i fenomeni di collasso più frequenti nell'ingegneria strutturale: l'instabilità elastica, lo snervamento e la frattura fragile.

Il corso comprende lezioni, esercitazioni in aula ed applicazioni con il calcolatore.

**REQUISITI.** *Analisi matematica 1 e 2, Fisica 1.*

#### PROGRAMMA

1. Geometria delle aree: definizione dei momenti di primo e secondo ordine e leggi di trasformazione in forma matriciale.
2. Cinematica e statica dei sistemi di travi: studio algebrico e grafico.
3. Determinazione delle reazioni vincolari e curva delle pressioni; caratteristiche della sollecitazione.
4. Analisi della deformazione e della tensione: definizione dei tensori delle deformazioni e degli sforzi, leggi di trasformazione per rotazione del sistema di riferimento, direzioni principali. Rappresentazione grafica di grandezze tensoriali mediante cerchi di Mohr.
5. Solido elastico: elasticità lineare, isotropia, moduli di Young e Poisson, equazione di Lamé in forma operatoriale, teorema di Clapeyron, teorema di Betti, criteri di resistenza.
6. Stato tensionale nella trave (secondo le ipotesi di Saint Venant): sforzo normale, flessione semplice e deviata, taglio, torsione.
7. Travi e lastre inflesse.
8. Metodo degli elementi finiti: costruzione della matrice di rigidezza, impostazione delle condizioni al contorno.
9. Strutture iperstatiche: metodo delle forze e degli spostamenti, applicazione del principio dei lavori virtuali, metodo dei telai piani.
10. Calcolo automatico dei telai; definizione delle matrici elementari, assemblaggio della matrice della struttura.
11. Fenomeni di collasso strutturale: instabilità elastica dell'equilibrio, collasso plastico, meccanica della frattura.

#### BIBLIOGRAFIA

A. Carpinteri, *Scienza delle costruzioni, Vol. 1 e 2*, Pitagora, Bologna, 1992.

## H 4660      **Scienza e tecnologia dei materiali elettrici**

Anno: periodo 3:1 Impegno (ore): lezioni 84 (settimanali 6)

Prof. Daniele Mazza (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si prefigge i seguenti scopi: richiamare i concetti fondamentali della fisica e della chimica dei solidi; correlare la struttura con i comportamenti magnetico, elettrico e meccanico dei materiali d'interesse elettrotecnico; classificare i suddetti materiali in funzione delle loro caratteristiche d'impiego in settori specifici; fornire nozioni di base sulle tecnologie di produzione di elementi, leghe e composti da utilizzare nelle varie realizzazioni; prevedere il loro comportamento in esercizio; giustificare le eventuali interazioni con l'ambiente circostante.

### PROGRAMMA

Richiami alla struttura dell'atomo e dei solidi. Stato amorfo e stato cristallino. Principali esempi di diagrammi di fase binari. Elementi di teoria delle bande.

*Proprietà meccaniche e termiche dei materiali.*

Variazioni dimensionali indotte dalla temperatura. Metodi di misura delle principali caratteristiche meccaniche.

*Proprietà elettriche dei materiali.*

Correlazione tra comportamento elettrico e struttura elettronica. Conduzione nei cristalli ionici. Superconduttività. Meccanismi di semiconduzione di tipo intrinseco ed estrinseco. Principi della purificazione a zone e della diffusione allo stato solido. Effetti termoelettrici. Scarica nei dielettrici. Fenomeni di polarizzazione. Comportamento ferroelettrico.

*Proprietà magnetiche dei materiali.*

Relazione tra comportamento magnetico e struttura elettronica. Ciclo di isteresi.

*Tecnologie di produzione dei materiali.*

Metallurgia del ferro e principali leghe. Leghe per magneti permanenti. Ferriti cubiche ed esagonali. *Garnet*. Principali leghe di rame ed alluminio. Cenni alle metallurgie degli altri metalli.

### BIBLIOGRAFIA

Appunti distribuiti durante le lezioni, con riferimenti bibliografici specifici.



## H 1710 Elettronica applicata

Anno: periodo 3/2 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 42 (settimanali 4/3)

Prof. Franco Mussino (Elettronica)

Il corso ha lo scopo di fornire gli elementi di base che consentono di analizzare il funzionamento di circuiti contenenti dispositivi elettronici in regime sia statico sia dinamico.

Sono analizzati i più comuni circuiti a diodi, transistori, amplificatori operazionali in applicazioni lineari e non lineari con particolare attenzione ad una corretta utilizzazione delle loro caratteristiche essenziali. Sono studiati anche i circuiti logici fondamentali (porte logiche) e le loro applicazioni più comuni.

### PROGRAMMA

Richiami di analisi di circuiti lineari. Studio di una rete in regime generico (richiami della trasformata di Laplace). Funzioni di rete generalizzate (zeri e poli) e loro rappresentazioni grafiche (diagrammi di Bode).

Cenni di elettronica dello stato solido. Meccanismi di conduzione nei semiconduttori e giunzione  $p-n$ .

Modelli statici e dinamici di diodi raddrizzatori e diodi zener. Esempi di applicazioni di diodi: circuiti di raddrizzamento, circuiti con diodi zener.

Transistori a effetto di campo e bipolari. Funzionamento e caratteristiche dei transistori. Influenza della temperatura sulle caratteristiche: dissipazione termica, esempi di calcolo di un dissipatore.

Modello statico di un transistor funzionante in zona attiva e circuiti di polarizzazione.

Modello incrementale del transistor a effetto di campo e bipolare.

Analisi circuitale dei tipi fondamentali di stadi amplificatori a transistori; comportamento a bassa ed alta frequenza di un amplificatore RC monostadio. Amplificatori a più stadi. Amplificatori di potenza in classe A, B, C. Amplificatori operazionali: circuiti equivalenti e applicazioni. Amplificatori con reazione. Stabilità di un amplificatore controeazionario e metodi di compensazione.

Oscillatori sinusoidali.

Circuiti logici: famiglie MOS e bipolari; circuiti sequenziali: *flip-flop*, contatori, registri a scorrimento; sistemi di interconnessione e interfacciamento.

### BIBLIOGRAFIA

Millman, Grabel, *Microelectronics*, McGraw-Hill.

A. Attisani, *Elettronica applicata*, CUSL, Torino.

## H 1792 Elettrotecnica 2

Anno: periodo 3:2 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 40 (settimanali 6/2)

Prof. Michele Tartaglia (Ing. elettrica industriale)

Il corso si propone di approfondire tematiche svolte nel corso di *Elettrotecnica 1* considerando anche gli aspetti applicativi, che costituiscono la base dei corsi successivi nel campo delle macchine e degli impianti elettrici.

### REQUISITI

*Analisi matematica 1 e 2, Fisica 1 e 2, Elettrotecnica 1, Complementi di matematica.*

### PROGRAMMA

*Complementi di teoria delle reti:* metodi di risoluzione con le equazioni alle maglie e ai nodi. Diagrammi circolari di bipoli e caratteristiche di comportamento in frequenza. Condizioni di fisica realizzabilità dei bipoli passivi.

*Doppi bipoli:* equazioni e parametri con relative equazioni di trasformazione. Impedenze di ingresso e uscita, funzioni di trasferimento.

*Filtri:* classificazione e generalità sul loro impiego nei circuiti. Filtri passivi a parametri concentrati. Condizioni di fisica realizzabilità e metodi di progetto di filtri passa-basso, passa-alto, passa-banda.

*Linee elettriche:* modello di linea elettrica ed equazione dei telegrafisti. Linea senza perdite, condizioni di Heaviside. Propagazione delle onde di tensione e di corrente, impedenza caratteristica e di ingresso, sovratensioni. Linee in regime sinusoidale: equazioni, onde dirette, onde riflesse e fattore di riflessione. Regolazione della tensione all'uscita. Parametri di esercizio di una linea trifase.

*Campi elettrostatici:* richiami sulle grandezze specifiche e sulle loro proprietà. Equazioni di Laplace. Superfici equipotenziali e linee di flusso. Campi risolvibili mediante trattazione analitica. Capacità: richiami e calcolo di capacità di sistemi interessanti le applicazioni.

*Campi di corrente:* richiami sulle grandezze specifiche e sulle loro proprietà. Alcuni esempi di campi interessanti le applicazioni. Analogie con i campi elettrostatici. Calcolo della conduttanza.

*Campi magnetici:* richiami sulle grandezze specifiche e sulle loro proprietà. Legge di Biot e Savart; leggi generali sul calcolo di campi magnetici. Alcune applicazioni di interesse pratico. Azioni elettromagnetiche e azioni elettrodinamiche. Metodi generali di calcolo. Alcune applicazioni di interesse pratico. L'effetto pelle sui conduttori e valutazione delle perdite per correnti parassite.

### BIBLIOGRAFIA

L. Piglione, *Elettrotecnica 2*, Levrotto & Bella, Torino, 1983.

Küpfmüller, *Fondamenti di elettrotecnica*, UTET, Torino, 1973.

## H 3210 Meccanica applicata alle macchine

Anno: periodo 3:2 Impegno (ore): lezioni 68 esercitazioni 52 (settimanali 6/4)

Prof. Guido Belforte (Meccanica)

Scopo del corso è di esaminare le leggi fondamentali che regolano il funzionamento delle macchine, di effettuare l'analisi funzionale dei componenti meccanici e l'analisi dinamica dei sistemi meccanici.

**REQUISITI.** Nozioni di meccanica di base.

### PROGRAMMA

Leggi di aderenza e di attrito. Attrito radente e volvente.

Meccanismi vite e madrevite. Freni a ceppi piani, a tamburo, a disco. Frizioni piane e coniche.

Flessibili: cinghieri, funi, catene. Trasmissione con flessibili. Paranchi.

Giunti di trasmissione: cardani e giunti omocineticici. Sistemi con camme e punterie.

Trasmissione del moto con ruote dentate tra assi paralleli, incidenti e sghembi; coppia vite senza fine – ruota elicoidale. Forze scambiate tra gli ingranaggi. Rotismi ordinari ed epicicloidali. Riduttori di velocità, differenziali, cambi di velocità.

Azioni di contatto e cuscinetti a rotolamento. Proprietà dei lubrificanti. Teoria elementare della lubrificazione. Pattini e perni lubrificanti.

Equilibri dinamici. Applicazione del teorema della quantità di moto, del momento della quantità di moto e dell'energia. Sollecitazioni dinamiche su elementi rotanti ed equilibrio dei rotori.

Studio dei fenomeni transitori nelle macchine. Accoppiamento di macchine motrici ed operatrici. Funzionamento in regime periodico. Calcolo dei volani.

Vibrazioni di sistema a parametri concentrati ad uno e a più gradi di libertà. Uso delle trasformate nello studio dei sistemi vibranti. Misura delle vibrazioni. Trasmissibilità. Velocità critiche.

Applicazioni delle trasformate di Laplace allo studio di sistemi meccanici.

Componenti e sistemi di automazione pneumatici ed oleodinamici.

Tecniche di controllo digitali.

### BIBLIOGRAFIA

Belforte, *Meccanica applicata alle macchine*, Giorgio, Torino, 1989.

Jacazio, Piombo, *Meccanica applicata alle macchine*, Levrotto & Bella, Torino, 1991.

Ghigliazza, *Guida alla progettazione funzionale delle macchine*, Tolozzi.

Jacazio, Piombo, *Esercizi di meccanica applicata alle macchine*, Levrotto & Bella, Torino, 1983.

## H 0350 Automazione a fluido

Anno: periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 56 laboratori 52 (settimanali 4/4)

Prof. Guido Belforte (Meccanica)

Il corso ha lo scopo di far conoscere i diversi sistemi di automazione a fluido attualmente adoperati e di fornire le nozioni di base indispensabili per una corretta progettazione e per un uso razionale degli impianti a fluido. Vengono quindi analizzati componenti ed elementi di vari tipi di sistemi pneumatici, micropneumatici e fluidici, digitali e proporzionali.

Vengono inoltre fornite nozioni di analisi dei sistemi, di tecniche di automazione digitale, di modellazione dei sistemi pneumatici.

**REQUISITI.** *Meccanica applicata alle macchine.*

### PROGRAMMA.

Proprietà dei sistemi pneumatici, fluidici, oleodinamici. Proprietà dei fluidi.

Unità di misura, strumenti di misura e trasduttori. Attuatori pneumatici: cilindri e relative regolazioni. Valvole pneumatiche.

Principi di algebra logica.

Elementi pneumatici logici ed elementi micropneumatici. Getti e principi di fluidica.

Elementi fluidici digitali e proporzionali. Caratteristiche di funzionamento di valvole pneumatiche e di elementi fluidici. Coefficienti di valvole.

Sistemi oleopneumatici.

Tecniche di controllo digitali: sequenziatori, contatori, programmatori a fase, microprocessori. Diagrammi funzionali: movimenti-*fsi*, *grafcet*, *gemma*.

Elementi di interfaccia, elettrovalvole e sistemi elettropneumatici. Sensori, ed elementi di fine corsa. Elementi periferici e complementari.

Modellazione e comportamento dinamico dei sistemi pneumatici, propagazione dei segnali pneumatici. Sistemi pneumatici proporzionali; posizionatori pneumatici.

Esercizio dei circuiti. Alimentazione degli impianti, trattamento dell'aria. Affidabilità, aspetti energetici, ecologici e di sicurezza.

Applicazioni: sistemi digitali con sequenziatori, controllori programmabili PLC, microprocessori.

### ESERCITAZIONI.

Nelle esercitazioni (da svolgersi in laboratorio) vengono approfonditi argomenti trattati nelle lezioni, vengono impartite nozioni di base sull'uso della strumentazione adoperata nei sistemi a fluido, e vengono eseguite prove su componenti, circuiti e sistemi in modo da acquisire una conoscenza, per quanto possibile, pratica della materia.

### BIBLIOGRAFIA.

Belforte, D'Alfio, *Applicazioni e prove dell'automazione a fluido*, Giorgio, Torino, 1992.

Belforte, *Pneumatica*, Tecniche nuove, Milano, 1992.

Bouteille, Belforte, *Automazione flessibile elettropneumatica e pneumatica*, Tecniche nuove, Milano, 1987.

## H 0840      Controlli automatici

Anno: periodo 4:1    Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 40    (settimanali 6/4)

Prof. Giovanni Fiorio (Automatica e informatica)

L'insegnamento riguarda sia l'analisi dei sistemi fisici, con lo scopo di determinarne le leggi di funzionamento in regime transitorio, sia le proprietà dei sistemi dotati di controllo, sia il progetto degli organi di controllo per sistemi dinamici.

**REQUISITI.** Le nozioni propedeutiche richieste sono quelle di elettrotecnica e di matematica, soprattutto riguardanti l'uso delle trasformate di Laplace.

### PROGRAMMA

1. Il problema del controllo automatico.
2. La costruzione di modelli di sistemi fisici. Rappresentazione grafica di modelli matematici (schemi a blocchi e grafi di flusso). Modelli matematici approssimati per sistemi elettrici, meccanici, elettromeccanici, termici, idraulici e pneumatici.
3. Elementi di analisi di segnali e di modelli matematici. Risposta nel dominio del tempo e della frequenza. Cenni su processi stocastici e su dinamica statistica. Proprietà strutturali.
4. L'incertezza nei modelli di sistemi e di segnali. La sensitività.
5. Dinamica di sistemi monovariabili con retroazione. Criteri di Routh e di Nyquist. Margini di stabilità. Luogo delle radici.
6. Specifiche per la qualificazione dei sistemi di controllo. Specifiche *standard* e specifiche orientate al funzionamento in condizioni normali di esercizio.
7. Strutture particolari di sistemi di controllo monovariabili. Compensazione in cascata ed in retroazione; retroazione dalle variabili di stato e da generiche uscite secondarie; filtraggio del riferimento filtraggio (previa misura) dei disturbi. Strutture miste.
8. Progetto del controllo per sistemi monovariabili. Progetto di compensatori in cascata sulla base di specifiche assegnate. Progetto di compensatori di forma prefissata relativi ad altre strutture. Orientamenti per la scelta della forma. Sintesi diretta, progetto con più gradi di libertà.
9. Introduzione allo studio del controllo digitale. Componenti digitali dei sistemi di controllo. I sistemi a tempo discreto. La trasformata *zeta*. Cenno al progetto di sistemi di controllo digitale.

### BIBLIOGRAFIA

Le lezioni e le esercitazioni sono svolte seguendo rispettivamente i testi:

G. Fiorio, *Controlli automatici con elementi di teoria dei sistemi*, CLUT, Torino.

G. Fiori, S. Malan, *Esercitazioni di Controlli automatici*, CLUT, Torino.

Altri testi consigliati sono:

G. Marro, *Controlli automatici*, Zanichelli, Bologna.

A. Isidori, *Sistemi di controllo*, Siderea, Roma.

D'Azzo, Houpis, *Linear control systems analysis and design*, McGraw-Hill.

## H 3130 Macchine elettriche

Anno: periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 20 laboratori 15 (settimanali 4/2)

Prof. Paolo Ferraris (Ing. elettrica industriale)

Il corso si propone di introdurre le metodologie fondamentali utili all'analisi del funzionamento di quei dispositivi elettromeccanici statici o rotanti che possono pensarsi alla base della realizzazione delle principali macchine elettriche nella loro veste industriale. Su tali basi ci si propone di analizzare i fenomeni più elementari del funzionamento delle quattro macchine classiche e di procedere, ove possibile, ad una loro descrizione quantitativa. Cenni alle tecniche realizzative delle macchine sono introdotti limitatamente a quanto necessario per formulare un modello fisico studiabile. Questo aspetto dovrebbe essere parzialmente completato da ricognizioni su macchine industriali.

**REQUISITI.** Nozioni propedeutiche sono quelle relative alle fenomenologie elettriche e magnetiche, ed alle tecniche elementari per la realizzazione di dispositivi elettromeccanici. Esse sono riconducibili ai contenuti dei corsi di *Fisica* e di *Elettrotecnica 1 e 2*.

### PROGRAMMA

#### 1. Trasformatori.

Avvolgimento percorso da corrente, grandezze caratteristiche, circuito equivalente elettrico e magnetico, convenzioni di segno. Circuiti magneticamente accoppiati, circuito equivalente elettrico e magnetico; principio di dualità; equazioni e funzionamento. Trasformatore monofase ideale; adattatore di impedenza. Trasformatore monofase reale: corrente magnetizzante; circuiti magnetici reali; perdite nel ferro; trasformatore in regime sinusoidale; diagramma vettoriale; simulazione delle perdite nel ferro. Potenza nominale; rendimento. Funzionamento a vuoto; funzionamento in corto circuito; determinazione dei parametri caratteristici; le perdite addizionali. Funzionamento sotto carico; variazione di tensione da vuoto a carico; diagramma di Kapp. Funzionamento in parallelo di trasformatori monofasi; analisi di comportamento e condizioni di buon funzionamento.

Trasformatori trifasi. Circuito magnetico equivalente; semplificazioni in caso di buona simmetria. Tipo di collegamenti, gruppi di appartenenza. Funzionamento a vuoto, effetto della saturazione. Effetto della presenza di un avvolgimento a triangolo sui flussi omopolari. Funzionamento con carichi squilibrati, a seconda del tipo di collegamento primario. Trasformatore con collegamento a zig-zag.

Autotrasformatore; funzionamento e peculiarità; parametri caratteristici.

#### 2. Macchine rotanti in corrente alternata.

Strutture delle macchine rotanti: definizione di  $f_{mm}$  distribuita prodotta da conduttori posti al traferro,  $f_{mm}$  dovuta a una o più spire, analisi armonica delle distribuzioni spaziali di  $f_{mm}$ .

Effetto di un avvolgimento percorso da corrente sinusoidale. Campo rotante di tre avvolgimenti percorsi da una terna di correnti equilibrate; definizione del numero di spire equivalenti per la produzione di  $f_{mm}$ .

Rappresentazione di  $f_{mm}$  al traferro mediante vettori spaziali. Flusso al traferro, riltanza equivalente, vettore flusso. Flusso concatenato e  $f_{em}$ , in spire al traferro in regime sinusoidale. Fattori di avvolgimento, numero di spire equivalenti dal punto di vista della generazione di  $f_{em}$ ; dipendenza dal tipo di avvolgimento.

Rappresentazione mediante vettori spaziali di tutte le grandezze di macchina e di avvolgimento.

### 3. Macchine sincrone trifasi.

Tipi di strutture e definizioni.

Macchina isotropa in condizioni di linearità magnetica. Equazioni elettriche e magnetica in regime sinusoidale. Diagramma vettoriale.

Determinazione della corrente di eccitazione note le condizioni elettriche di carico. Effetti della reazione di indotto. La reattanza sincrona. Circuito equivalente in linearità di una macchina isotropa. Effetto della saturazione.

Individuazione degli assi privilegiati di macchina note le condizioni di carico. Scomposizione di tutte le grandezze di macchina secondo componendi  $d$  e  $q$ . Analisi del funzionamento con carichi reattivi. Caratteristiche a corrente costante a  $\cos\varphi = 0$ ; il triangolo di Potier.

Fenomeni di autoeccitazione, caratteristica di autoeccitazione. Diagramma circolare, curve a "V", la macchina sincrona come carico reattivo fittizio. Caratteristica elettromeccanica della macchina isotropa, condizioni di stabilità.

Macchine anisotrope, effetti distorcenti dell'anisotropia. Scomposizione delle equazioni secondo i due assi, reattanza sincrona diretta e in quadratura. Diagramma vettoriale. Caratteristica elettromeccanica delle macchine anisotrope.

Cenno ai problemi di misura di parametri delle macchine sincrone.

### 5. Macchine a induzione.

Struttura e funzionamento qualitativo.

$Fem$  indotte e  $fmm$  prodotte da sistemi polifasi di avvolgimenti statorici e rotorici. Funzionamento a rotore fermo come sfasatore. Funzionamento a rotore in movimento, scorrimento. Rappresentazione con vettori spaziali delle grandezze statoriche e rotoriche.

Interpretazione del funzionamento mediante circuito equivalente primario e secondario. Deduzione e interpretazione del circuito equivalente completo. Rapporto di trasformazione per le correnti e per le  $fmm$ . Circuito equivalente riportato al primario e sue elaborazioni. Diagramma circolare.

Potenza in gioco nella macchina a induzione e loro interdipendenza. Caratteristica elettromeccanica e sue peculiarità. Il ruolo della resistenza rotorica, e degli altri parametri fondamentali. Le rette caratteristiche sul diagramma circolare.

### 6. Macchine a corrente continua.

Generalità, l'anello di Pacinotti, deduzioni della struttura classica per la macchina in  $cc$ . L'avvolgimento rotorico ed il commutatore a lamelle.  $Fem$  e coppia prodotta in macchina a eccitazione indipendente. Reazione di indotto e suoi effetti, effetto dello spostamento del piano di commutazione. Il fenomeno della commutazione, gli avvolgimenti ausiliari e di compensazione. Caratteristica elettromeccanica e sua utilizzazione mediante regolazione nell'armatura e nel campo. La regolazione a potenza costante, significato delle regolazioni miste.

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula mirano ad illustrare gli aspetti essenziali degli argomenti svolti a lezione con esempi dei tipi di funzionamento delle macchine e delle loro applicazioni più rilevanti dal punto di vista pratico.

Particolare importanza è data alla risoluzione per via analitica e grafica, dei problemi concernenti il funzionamento e la costruzione delle macchine elettriche più importanti al fine di produrre una acquisizione diretta di notizie circa gli ordini di grandezza di parametri elettrici meccanici e termici che condizionano il funzionamento ed il progetto delle più comuni macchine.

## LABORATORI

Le esercitazioni di laboratorio avranno lo scopo di verificare su macchine reali i principali fenomeni descritti a lezione ed i dati ottenuti nelle esercitazioni in aula.

**BIBLIOGRAFIA.**

A. Carrer, *Macchine elettriche*, vol. 1-4, Levrotto & Bella, Torino.

S. Crepaz, *Macchine elettriche*, CLUP, Milano.

G. Smeda, *Elementi di costruzione delle macchine elettriche*, Pàtron, Bologna.

Fitzgerald, Kingsley, *Electric machinery*, McGraw-Hill, New York.

## **H 1385      Disegno assistito dal calcolatore + Costruzione di macchine**

(Corso integrato)

Anno: periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 28 laboratori 28 (settimanali 4/2/2)

Prof. Giovanni Podda (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienda)

Prof. Giovanni Roccati (Meccanica)

Il corso intende fornire una formazione di base sia sulle tecniche tradizionali del disegno tecnico che sulle tecniche CAD. Inoltre vengono forniti i concetti fondamentali per il calcolo di progetto e di verifica degli organi delle macchine con particolare riferimento ai problemi di maggiore interesse per l'ingegnere elettrico.

**PROGRAMMA**

- a) Elementi di rappresentazione. Assonometrie unificate, proiezioni, sezioni, quotatura, tolleranze dimensionali e di forma, rugosità.
- b) Disegno e proporzionamento di massima di organi meccanici. Fatica ed effetto di intaglio. Collegamenti albero-mozzo (chiavette, linguette, scanalati). Collegamenti filettati. Molle. Cuscinetti: criteri di scelta e montaggio. Assi ed alberi. Giunti e innesti. Ingranaggi e rotismi. Flessibili. Cenni sui dischi rotanti a forte velocità e velocità critiche.
- c) Elementi di CAD. Trasformazioni nel piano e nello spazio. Curve e superfici parametrizzate.

**ESERCITAZIONI**

- a) Schizzi a mano libera di elementi meccanici e di complessivi.
- b) Applicazioni numeriche sul proporzionamento di organi meccanici.
- c) Uso di programmi CAD commerciali (presso le sale LAIB e LEP).



## H 1830      Energetica e sistemi nucleari

Anno:periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 86 esercitazioni 28 (settimanali 6/2)

Prof. Evasio Lavagno (Energetica)

Il corso si propone di fornire le conoscenze e gli strumenti metodologici utili per la valutazione dei sistemi energetici industriali e civili per la produzione dell'energia elettrica e per la produzione combinata di energia elettrica e termica.

Vengono analizzate con dettaglio le soluzioni impiantistiche e di sistema, nucleari e convenzionali, particolarmente innovative dal punto di vista tecnologico e ambientale e dotate di elevate caratteristiche di sicurezza.

### PROGRAMMA

*Forme e trasformazioni fondamentali dell'energia.*

Fonti e usi finali dell'energia. I cicli di trasformazione delle fonti fossili e nucleari e di quelle rinnovabili.

*Fondamenti di energetica.*

Principi di conservazione dell'energia; energia ed exergia; metodologie per l'analisi energetica ed exergetica dei cicli e delle trasformazioni termodinamiche.

*Le fonti primarie di energia.*

Classificazione e caratteristiche; modalità di utilizzazione.

*Sistemi, processi e tecnologie.*

Impianti di trasformazione delle fonti energetiche: solare diretto e indiretto, biomassa, carbone, idrocarburi, fissione e fusione nucleare, idrogeno. Tecnologie per il vettore-mento energetico.

*Interazioni tra i sistemi energetici e l'ambiente.*

Impatti ambientali, loro valutazione e mitigazione.

*Le nuove tecnologie.*

Maturità tecnologica e commerciale. Situazione attuale e prospettive per impianti e sistemi provati e per proposte innovative da punto di vista tecnologico e ambientale. Stato dell'arte in relazione a: cicli a carbone, celle a combustibile, cicli dell'idrogeno, reattori nucleari avanzati, reattori nucleari innovativi a sicurezza intrinseca, fonti rinnovabili.

*Modelli per l'analisi dei sistemi energetici.*

Valutazione delle caratteristiche tecnologiche, economiche ed ambientali; programmi e codici (TEMIS, MARKAL, GRAFENE).

**ESERCITAZIONI.** Le esercitazioni consistono nello sviluppo di casi concernenti particolari cicli energetici e nell'applicazione di alcuni modelli di analisi integrale tecnico-economica e ambientale.

## H 2701 Impianti elettrici 1

Anno: periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 78 (settimanali 6)

Prof. Roberto Pomè (Ing. elettrica industriale)

L'obiettivo del corso consiste nel rendere disponibile per gli allievi una descrizione completa e coordinata delle regole di progettazione, installazione, esercizio degli impianti di distribuzione di media e bassa tensione; una particolare attenzione è prestata ai problemi di affidabilità, economicità, sicurezza, risparmio energetico.

Il corso sarà articolato in lezioni ed esercitazioni, largo spazio sarà dato a visite di impianti e di aziende specializzate.

**REQUISITI.** *Elettrotecnica 1, Elettrotecnica 2*, complementi di matematica.

### PROGRAMMA

Considerazioni generali sui sistemi di trasporto e distribuzione.

Reti degli enti distributori.

Strutture. Principali componenti.

Reti di utente. Strutture tipiche. Principali componenti.

Problemi impiantistici. La progettazione, la gestione.

Obiettivi generali: affidabilità, sicurezza, riduzione dei costi, risparmi energetici.

Classificazione dei componenti delle reti di distribuzione MT, criteri di selezione e di proporzionamento.

Classificazione dei componenti delle reti di distribuzione BT, criteri di selezione e di proporzionamento.

I sistemi di protezione. Problemi di sicurezza.

Normative.

Criteri di prova e collaudo.

### ESERCITAZIONI

Esempi di calcolo di progetto. Applicazioni. Analisi di documentazione tecnica.

Visite ad impianti e laboratori di costruttori.

## H 3110      Macchine

Anno: periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 42 (settimanali 6/4)

Prof. Paolo Campanaro (Energetica)

Nel corso sono esposti i principi termodinamici e fluidodinamici necessari ad una corretta comprensione del funzionamento delle macchine a fluido.

Di queste viene poi sviluppata l'analisi del funzionamento nei tipi di più comune impiego (sia macchine motrici, sia macchine operatrici) con l'approfondimento richiesto dall'obiettivo di far diventare l'allievo nella sua futura attività professionale un accorto utilizzatore sia nella scelta delle macchine stesse, sia nel loro esercizio.

A questo scopo viene dato ampio spazio ai problemi di scelta, di installazione, di regolazione, sia in sede di lezione, sia in sede di esercitazione, dove vengono esemplificate le necessarie calcolazioni.

### REQUISITI.

Sono nozioni propedeutiche essenziali quelle presenti nel corso di *Fisica tecnica* e, in parte, nel corso di *Meccanica applicata alle macchine*.

### PROGRAMMA

Considerazioni generali sulle macchine a fluido motrici ed operatrici. Classificazioni. Applicazione di concetti di termodinamica e fluidodinamica alle macchine.

Cicli e schemi di impianti a vapore d'acqua; mezzi per migliorare il rendimento dell'impianto. Cicli rigenerativi. Impianti con produzione combinata di energia meccanica e calore.

Turbine a vapore. Triangoli di velocità. Stadi ad azione e a reazione, portate, potenze, rendimento. Regolazione degli impianti. La condensazione degli impianti a vapore.

Compressori di gas; classificazione, schemi di funzionamento.

Generalità sui turbocompressori. Valutazione della caratteristica adimensionata d'un turbocompressore. Similitudine di funzionamento. Instabilità per stallo e pompaggio. La regolazione dei turbocompressori.

Compressori volumetrici (a stantuffo, rotativi del tipo a palette e Roots). Generalità, funzionamento, perdite caratteristiche, regolazione.

Turbine a gas: considerazioni termodinamiche sul ciclo; organizzazione meccanica, funzionamento e regolazione degli impianti. Ciclo con aria e ciclo con elio: analisi comparata delle due soluzioni.

Macchine idrauliche motrici e operatrici; turbine Pelton, Francis, Kaplan e loro regolazione.

Le turbopompe, loro regolazione. Pompe volumetriche. La cavitazione nelle turbomacchine idrauliche. Le pompe-turbine.

Motori alternativi a combustione interna: classificazione, cicli di lavoro. Perdite caratteristiche, rendimenti, prestazioni. Alimentazione e regolazione di tali motori.

**ESERCITAZIONI.** Il corso delle esercitazioni prevede applicazioni specifiche di calcolo sulle macchine trattate a lezione, con particolare attenzione a temi relativi all'impianto nucleotermoelettrico.

### BIBLIOGRAFIA.

Appunti delle lezioni sono messi a disposizione degli allievi.

A.E. Catania, *Complementi di esercizi di macchine*, Levrotto & Bella, Torino, 1979.

A. Beccari, *Macchine*, vol. 1, CLUT, Torino, 1980.

F. Montevocchi, *Turbine a gas*, CLUP, Milano, 1977.

## H 3660 Misure elettriche

Anno: periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 80 laboratori 40 (settimanali 6/4)

Prof. Andrea Abete (Ing. elettrica industriale)

È un corso per la preparazione di base, teorica e pratica, a misure nell'area dell'ingegneria elettrica. Tratta argomenti di metrologia elettrica generale, strumenti di misura elettrici ed elettronici, metodi di misura, strettamente integrati da esperienze di laboratorio.

**REQUISITI.** Conoscenze di analisi matematica, fisica, elettrotecnica ed elettronica.

### PROGRAMMA.

1. Configurazione e informazione di una misura. Unità di misura e campioni elettrici. Errori e valutazioni statistiche. Caratteristiche degli strumenti di misura elettrici ed elettronici. Comportamento dinamico degli strumenti di misura analogici: caratteristiche degli strumenti a deviazione, oscillografici, selettivi, integratori, derivatori e balistici. Campionamento dei segnali analogici: strumenti a campionamento e strumenti numerici.
2. Strumenti di misura elettromeccanici: magnetoelettrici, magnetoelettrici a raddrizzatori e a termocoppie, elettrodinamici, elettromagnetici, a induzione. Trasformatori di misura: partitori di tensione e di corrente. Strumenti di misura elettronici: amplificatori per misure; strumenti analogici a deviazione; convertitori analogici-numeriche e viceversa; strumenti numerici; strumenti con microprocessori. Strumenti di misura oscillografici e selettivi: oscilloscopi catodici analogici e numerici, registratori; alizzatori di onda e di spettro. Sensori e trasduttori. Sistemi automatici di misura.
3. Misure su circuiti in corrente continua: uso di strumenti elettromeccanici ed elettronici; misure di resistenze piccole e di isolamento. Misure in regime variabile: circuiti monofase in regime sinusoidale e periodico qualunque; circuiti a frequenze elevate. Misure su circuiti trifase. Metodi di confronto: ponti e potenziometri in *cc* e in *ca*; applicazioni dei ponti in condizioni di squilibrio; ponti automatici. Misure magnetiche, cifra di perdita. Determinazione dei parametri dinamici e taratura di strumenti di misura. Misure su impianti di messa a terra. Interferenze e reiezione dei disturbi.

**ESERCITAZIONI.** Le esercitazioni di laboratorio riguardano argomenti del programma su cui approfondire la conoscenza tramite la sperimentazione.

### BIBLIOGRAFIA

A. Abete, *Misure elettriche ed elettroniche*, CELID, 1992.

A. Abete, R. Tommasini, *Problemi ed esperienze di misure elettriche ed elettroniche*, CELID, 1992.

S. Wolf, *Guide to electronic measurements and laboratory practice*, Prentice-Hall, 1983.

E.O. Doebelin, *Measurement system : application and design*, McGraw-Hill, 1990.

## H 0190      Analisi dei sistemi

Anno:periodo 5:1    Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 60 (settimanali 4/4)

Prof. Simona Muratori (Automatica e informatica)

Il corso presenta una rassegna delle tecniche di analisi dei sistemi utili per lo sviluppo e l'uso di modelli descrittivi di simulazione e previsione e di modelli decisionali di pianificazione e gestione. Particolare importanza viene data ai problemi di stabilità e ottimizzazione dei sistemi dinamici sia lineari che non lineari.

Il corso si articola in lezioni, esercitazioni teoriche ed esercitazioni al calcolatore dove vengono sviluppati dallo studente studi a carattere applicativo.

### PROGRAMMA

Nella prima parte sono introdotti i concetti di modellistica sia descrittiva che decisionale. Seguono gli elementi di teoria dei sistemi lineari includendovi la stabilità e altre proprietà strutturali, risposte in frequenza e modelli ARMA. Elementi di teoria dei sistemi non lineari, molteplicità di equilibri, cicli limite, biforcazioni e catastrofi, caos deterministico.

Nella successiva parte si individuano le analisi dei dati e il trattamento di segnali e immagini. Segue poi la simulazione e taratura *off-* e *on-line* dei modelli di simulazione. studio della previsione e taratura dei previsori, previsione adattativa. Metodi di programmazione matematica e ottimizzazione combinatoria.

Nell'ultima parte si individuano la pianificazione, l'analisi costi-benefici, l'analisi a molti obiettivi e strutture decisionali complesse.

I problemi di gestione con elementi di teoria del controllo ottimo e programmazione dinamica concludono il corso.

### BIBLIOGRAFIA

Sono disponibili le note del corso (in 2 volumi): corrispondono a quanto viene proiettato a lezione (tutto il corso è svolto con lavagna luminosa) e pertanto costituiscono solo un supporto per la preparazione dell'esame. È anche disponibile un eserciziario.

## H 0290      Applicazioni industriali elettriche

Anno:periodo 5:1    Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 16 laboratori 10 (settimanali 6/2/2)

Prof. Marialuisa Tosoni (Ing. elettrica industriale)

Il corso si propone di studiare le problematiche relative al progetto di circuiti logici per il comando ed il controllo di sistemi elettromeccanici. Vengono trattate sia le logiche programmabili basate su sistemi a microprocessore sia le logiche non programmabili.

Il corso è integrato sia da esercitazioni in aula sia da esercitazioni pratiche sull'uso di sistemi di sviluppo *software*.

### PROGRAMMA

Nozioni di algebra booleana.

Analisi e sintesi di reti combinatorie.

Analisi e sintesi di reti sequenziali sincrone.

Modelli asincroni di sistemi logici.

Progetto formale di sistemi di controllo digitale: organizzazione generale, unità operativa, unità di controllo, unità periferiche, memorie di programma e di lavoro.

Descrizione della CPU Z80: architettura, modalità di funzionamento, *set* di istruzioni, temporizzazione dell'esecuzione delle istruzioni. Periferiche della famiglia Z80.

PLA uso e descrizione dei dispositivi EPxx Altera e relativi programmi di sviluppo *software*.

Descrizione di *microcontroller* MC 68332: architettura, modalità di funzionamento, *set* di istruzioni, periferiche, sistema di sviluppo *software*.

Descrizione del DSP ST 18930: architettura, modalità di funzionamento, *set* di istruzioni, sistema di sviluppo *software*.

## H 0392      **Azionamenti elettrici per l'automazione (teorico)**

Anno: periodo 5:1    Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 60    (settimanali 4/4)

Prof. Francesco Donati (Automatica e informatica)

Il corso inquadra lo studio dei sistemi elettromeccanici in generale e delle macchine elettriche in particolare dal punto di vista della moderna teoria dei sistemi. Tende quindi ad introdurre l'allievo all'uso dei calcolatori analogico e numerico nello studio di specifici problemi elettromeccanici.

**REQUISITI.** *Macchine elettriche, Controlli automatici, Elementi di programmazione.*

### PROGRAMMA

Funzionamento in condizioni transitorie di circuiti elettrici lineari e non lineari.

Impostazione matematica del problema attraverso l'uso delle variabili di stato in generale e l'uso delle funzioni di trasferimento nel caso particolare di sistemi lineari.

Simulazione numerica di sistemi elettromeccanici.

Modelli matematici per lo studio dei fenomeni transitori nelle macchine elettriche rotanti.

Controllo numerico di velocità e posizione applicato a motori a corrente continua e asincroni.

Problemi di stabilità e controllo degli alternatori.

### ESERCITAZIONI

Analisi di transitori tipici nei circuiti elettrici.

Analisi di particolari sistemi elettromeccanici.

Simulazione di fenomeni transitori in una macchina a corrente continua.

Simulazione di un sistema di controllo numerico.

### BIBLIOGRAFIA

Dispense (in corso di preparazione).

Meisel, *Principles of electromechanical energy conversion*, McGraw-Hill.

## H 0400 Azionamenti per trazione elettrica

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 20 (settimanali 6/2)

Prof. Gaetano Pessina (Ing. elettrica industriale)

Il corso ha come scopo la trattazione dei sistemi di trazione elettrica sia su guida vincolata quanto su gomma. Vengono trattati gli elementi di progettazione delle architetture e dimensionamento di azionamenti oggi usati nelle moderne applicazioni; sono trattati gli elementi di base dei sistemi di controllo e di diagnostica degli azionamenti. Il corso prevede numerose visite presso grandi aziende specializzate nel settore.

### PROGRAMMA

Gli argomenti trattati si articolano nei temi seguenti:

1. Trazione su rotaia con linea di contatto superiore a 3 kV; applicazioni ferroviarie.  
Vengono trattate le architetture dei sistemi di trazione equipaggiati con azionamenti ad *inverter* e motori asincroni; ad *inverter* e motori sincroni; a *chopper* e motori in corrente continua;
2. Trazione su rotaia con linea di contatto inferiore ad 1 kV; applicazione metropolitane; *people-mover*; tranviarie.  
Vengono trattate le architetture dei sistemi di trazione equipaggiati con azionamenti ad *inverter* di corrente e di tensione e motori asincroni; a *chopper* e motori in corrente continua; ad *inverter* e motore lineare induttore corto asincrono; ad *inverter* e motore lineare sincrono ad induttore distribuito.  
Verrà trattato il problema della frenatura elettrica con recupero di energia in rete e con dissipazione a bordo;
3. Trazione su gomma con sorgente da accumulatori e soluzioni ibride.  
Equipaggiamenti di trazione con azionamenti ad *inverter* e motori sincroni ed asincroni; con azionamenti a *chopper* e motori in corrente continua.  
La ruota motorizzata; convertitori AC/DC per la carica degli accumulatori di bordo. Il veicolo ibrido: generazione a bordo dell'energia elettrica. Il problema dell'autonomia; la frenatura a recupero;
4. Cenni sulla propulsione navale elettrica con esame delle principali applicazioni in campo militare e civile.

### BIBLIOGRAFIA

Consultazione di atti di congressi e riviste di settore, specificati durante il corso. Data la novità dell'argomento non esistono libri di testo.

## H 0850      Controllo dei processi

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 20 laboratori 20 (settimanali 4/4)

Prof. Donato Carlucci (Automatica e informatica)

Il corso ha come obiettivo quello di preparare il futuro ingegnere alla progettazione di sistemi di controllo dei processi anche di tipo complesso quali ad esempio il traffico veicolare urbano, una rete elettrica interconnessa, un manipolatore industriale a movimento in coordinate polari, un satellite artificiale. Nel corso vengono esposte le metodologie di controllo in catena chiusa con particolare riguardo sia verso gli aspetti di incertezza sulla conoscenza del processo in esame sia verso gli aspetti di implementazione del progetto.

Il corso si articola in lezioni, esercitazioni e laboratorio incentrato su esempi di progettazione assistita da calcolatore.

**REQUISITI.** *Teoria dei sistemi e Controlli automatici.*

### PROGRAMMA

Richiami sugli obiettivi del controllo ed esposizione del problema del controllo per sistemi dinamici a molti ingressi e molte uscite (multivariabili).

Descrizione delle tecniche di progetto del controllo per sistemi multivariabili nel dominio della frequenza: sistemi diagonal dominanti ed uso delle bande di Gershgorin; sistemi non dominanti ed uso del teorema di Nyquist; sistemi incerti ed uso combinato delle tecniche conosciute.

Descrizione delle tecniche di progetto del controllo per sistemi multivariabili nel dominio del tempo: tecniche di piazzamento dei poli del sistema in catena chiusa attraverso retroazione delle variabili di stato, algoritmi relativi; tecniche di piazzamento dei poli del sistema in catena chiusa attraverso la retroazione statica e dinamica dell'uscita, algoritmi relativi; trattamento dell'incertezza e modifiche delle specifiche del controllo per tenere in conto dell'incertezza con cui è noto il processo.

Sistemi a grandi dimensioni: formulazione dei problemi di controllo e descrizione di tecniche di progetto che tengano in conto delle comunicazioni fra sottosistemi.

Controllo gerarchico. Affidabilità, valutazione dei costi *hardware* e *software*.

### ESERCITAZIONI

Sono svolte in aula; in questa sede gli allievi eseguono passo per passo il lavoro di descrizione del processo, di definizione delle specifiche di progetto, di scelta di trasduttori ed attuatori, giungendo al progetto completo.

**LABORATORI.** Utilizzo di programmi di simulazione e di programmi di progetto assistito da calcolatore.

### BIBLIOGRAFIA

Sono disponibili gli appunti del corso scritti dal docente.



## H 1060 Costruzioni elettromeccaniche

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 100 (settimanali 8)

Prof. Carlo Zimaglia (Ing. elettrica industriale)

Il corso è rivolto a valorizzare la formazione progettuale e costruttiva sulle macchine elettriche come aspetto significativo degli sviluppi più attuali dell'ingegneria elettrica, interpretandola nei moderni contesti industriali e portando in primo piano l'integrazione dell'elettromeccanica con altre forme di trattamento dell'energia elettrica (elettronica di potenza) in vista del conseguimento di obiettivi globali di sistema. Ciò comporta, oltre all'allargamento del panorama elettromeccanica al di là dei limiti tipologici tradizionali, l'apertura a problematiche avanzate di vario tipo sotto l'aspetto sia funzionale che strutturale.

### PROGRAMMA

Panorama sugli sviluppi in corso o prospettati nell'elettromeccanica, con particolare rilievo ai segmenti di piccola e media potenza, e connessioni con gli sviluppi in settori collaterali (elettronica industriale, controlli).

Strumenti operativi al servizio di progetto, fabbricazione, gestione, e relative implicazioni sulle filosofie produttive.

Concetti e algoritmi di affidabilità nell'ottica elettromeccanica.

Elementi principali che orientano scelta e dimensionamento di un componente elettromeccanico e ne qualificano il funzionamento e l'economicità generalmente intesa: interfacce verso la rete primaria e verso il carico – caratteristiche operative a regime e in transitorio – indici energetici – riscaldamento; estensione di concetti e valutazioni analoghe all'unità integrata di conversione statico-elettromeccanica.

Progetto e realizzazione dei componenti elettromeccanici: strutture magnetiche, elettriche, meccaniche, di servizio; esempi di calcolo impostati su medio macchinario industriale.

*Outline* strutturale e gestionale di un centro di produzione elettromeccanica di serie.

### ESERCITAZIONI

Non viene formulata una distinzione tra lezioni ed esercitazioni, essendo le seconde (approfondimenti esemplificati di taluni argomenti) strettamente integrate con le prime.

### BIBLIOGRAFIA

Si indicano volta per volta pubblicazioni specialistiche in relazione ai temi trattati.

## H 1770 Elettronica industriale di potenza

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 20 laboratori 10 (settimanali 6/2)

Prof. Franco Villata (Ing. elettrica industriale)

Il corso si inquadra in un indirizzo tendente a fornire le basi per affrontare alcuni dei problemi che si presentano nel campo del comando di apparecchiature elettromeccaniche. Esso si propone di fornire la descrizione dei principali circuiti elettronici che permettono di realizzare sia le parti a livello di segnale che di potenza di più frequente impiego nell'elettronica industriale, con particolare riferimento ai convertitori statici di energia. Di ciascun circuito vengono esaminate le principali caratteristiche di funzionamento nonché i criteri di dimensionamento.

### REQUISITI

Per seguire il corso sono utili gli argomenti trattati nei corsi di *Elettrotecnica 1* ed *Elettronica applicata* per gli allievi elettrotecnici, e di *Elettrotecnica* ed *Elettronica applicata 1* per gli allievi elettronici.

### PROGRAMMA

Diodo: tipi costruttivi; modello elettrico; modello termico. Reti con diodi.

Convertitori monofasi alternata-continua, filtri: circuiti tipici di impiego e loro dimensionamento.

Diodi controllati: tipi costruttivi; modelli elettrici; principali caratteristiche fornite dal costruttore.

Convertitori alternata-continua controllati monofasi e trifasi per il comando di motori a corrente continua funzionanti nel piano coppia velocità su un quadrante, due quadranti, quattro quadranti. Dimensionamento dei componenti, delle protezioni da sovracorrenti e da sovratensioni. Commutazione, disturbi verso rete, potenza reattiva.

Struttura dei principali tipi di circuiti di regolazione e principio di funzionamento dei principali blocchi da cui sono costituiti, con particolare riguardo ai circuiti sfasatori e impulsatori, ed ai trasformatori di impulsi.

Controllo di macchine in corrente alternata di tipo sincrono e asincrono mediante convertitori controllati alternata-continua.

Trasduttori di tensione e di corrente impiegati nei convertitori controllati.

**ESERCITAZIONI.** Le esercitazioni vertono sul dimensionamento di convertitori alternata-continua e sono completate da esperienze di laboratorio.

### BIBLIOGRAFIA

H. Bühler, *Traité d'Électricité*, vol. XV, *Électronique industrielle 1, électronique de puissance*, Ceorgi, Losanna.

Möltgen, *I tiristori*, Collana Tecnica Siemens 3.

G. Montessori, *Elettronica di potenza*, Delfino.

Tali testi contengono solo parte degli argomenti del corso, pur contenendo argomenti che non verranno svolti.

## H 2702 Impianti elettrici 2

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 24 laboratori 24 (settimanali 6/2/2)

Prof. Roberto Napoli (Ing. elettrica industriale)

Il corso si propone di introdurre gli allievi ai concetti fondamentali per l'analisi, la gestione e la progettazione dei sistemi elettrici per l'energia. Vengono passati in rassegna i sistemi di trasmissione e distribuzione con particolare attenzione ai problemi di analisi, gestione e progetto nel rispetto delle esigenze di economia e sicurezza.

### PROGRAMMA.

Caratteristiche principali e configurazioni tipiche dei sistemi elettrici per l'energia. Sistema elettrico italiano.

Sistemi di trasmissione in corrente alternata e in corrente continua.

Componenti, vincoli e obiettivi funzionali. Modellistica del sistema e metodi risolutivi.

Stati di funzionamento: normale, di allerta, di emergenza.

Strategie di gestione ottimale. Analisi di sensitività. Sicurezza funzionale.

Regolazione della tensione e della frequenza. Comportamenti in regime di guasto.

Sistemi di distribuzione. Caratteristiche delle utenze e diagrammi di carico.

Schemi distributivi e livelli di tensione.

Il progetto di un impianto elettrico: criteri, scelta dei componenti, dimensionamenti.

Valutazioni economiche e funzionali. Esempi realizzativi di impianti elettrici nel settore civile, industriale e per applicazioni particolari (illuminazione, controllo del traffico, ferrovie, aeroporti).

Elettronica e informatica nell'impiantistica elettrica: gli edifici intelligenti.

La professione dell'ingegnere impiantista.

### ESERCITAZIONI

Gli allievi saranno addestrati ai metodi di soluzione basati sull'uso di PC utilizzando in parte *software* già disponibile e sviluppando semplici programmi applicativi. Inoltre gli allievi, suddivisi in gruppi, svilupperanno il progetto completo di un piccolo impianto.

### VISITE TECNICHE

Le visite agli impianti costituiscono una parte fondamentale del corso. Saranno compiute visite a centrali elettriche, a stazioni di trasmissione e al centro di controllo del compartimento ENEL. Inoltre, gli allievi, suddivisi in piccoli gruppi, effettueranno degli *stage* fuori sede della durata di 2-3 giorni presso impianti ENEL.

### BIBLIOGRAFIA.

Cataliotti, *Impianti elettrici*, Flaccovio.

Elgerd, *Electric energy system : an introduction*, McGraw-Hill.

## H 3090 Localizzazione dei sistemi energetici

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 28 (settimanali 6/2)

Prof. Evasio Lavagno (Energetica)

Il corso si propone di analizzare le metodologie e le procedure di localizzazione di impianti e sistemi energetici, con particolare attenzione alle tecnologie di salvaguardia ambientale. La scelta tra soluzioni alternative, a parità di servizi resi, viene impostata sulla base di un approccio di tipo sistemico, che si pone obiettivi di razionalizzazione tecnico-economica ed ambientale.

### PROGRAMMA

#### *Elementi di energetica.*

Le trasformazioni energetiche. I sistemi energetici: dalle fonti agli usi finali.

#### *Gli impianti ed i sistemi energetici.*

Caratteristiche costruttive e funzionali dei vari tipi di impianti e sistemi elettrogeneratori e di produzione di energia termica. Infrastrutture. I cicli del combustibile ed i relativi impatti. Valutazioni qualitative e quantitative dei rilasci di esercizio. I rilasci incidentali. Tecniche di controllo e riduzione delle emissioni.

#### *Il contesto normativo.*

Norme e procedure della legislazione nazionale ed internazionale. Analisi critica di alcuni casi rilevanti.

#### *Metodi di analisi comparata di impianti e sistemi energetici.*

Definizione dei parametri di valutazione in termini di validità: tecnologica, energetica, socioeconomica, territoriale, ambientale. Criteri e metodi per l'ottimizzazione delle scelte.

**ESERCITAZIONI.** Le esercitazioni consistono nello sviluppo di casi concernenti diversi sistemi energetici.

## H 3280 Meccanica dei robot

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 56 (settimanali 4/4)

Prof. Ario Romiti (Meccanica)

Scopo del corso è di fornire le conoscenze necessarie per la progettazione funzionale e strutturale dei robot e per il loro adattamento ai vari possibili impieghi, e la formulazione dei modelli matematici che dovranno essere utilizzati dai programmatori dei controlli. Verranno dapprima studiate le caratteristiche dei componenti, quindi sarà effettuata l'analisi del sistema robot; verranno infine considerate le applicazioni, dall'integrazione del robot in sistemi complessi alla personalizzazione dei robot per usi particolari.

### PROGRAMMA

Elementi caratteristici di robot e manipolatori. Classificazione dei robot. Gradi di libertà. Struttura meccanica dei robot. Configurazioni con elementi articolati e di scorrimento. Costituzione dei giunti e delle guide. Costituzione dei polsi. Sistemi di attuazione: elettrico, idraulico, pneumatico.

Caratteristiche meccaniche e di controllo degli attuatori. Sistemi di riduzione della velocità. Sensori di posizione e di velocità, assoluti ed incrementali, ottici ed elettromagnetici. Sensori tattili, di prossimità visuali. Sensori di forza. Trasduzione ed interpretazione dei segnali dei sensori.

Mani di presa meccaniche, elettromeccaniche, a vuoto. Movimentazione delle mani e delle dita. Forze di contatto.

Metodi di controllo automatico dei robot. Modellazione cinematica e dinamica del sistema meccanico del robot. Identificazione dei componenti. Metodi di analisi dinamica: teoremi generali, equazioni di Lagrange, metodi variazionali.

Rigidezze dei componenti e delle articolazioni. Effetti dell'elasticità della struttura. Modi di vibrazione. Precisione di posizionamento. Modelli delle mani di presa e dei sistemi di attuazione.

Trasmissioni nelle linee pneumatiche ed idrauliche. Studio dei transitori. Sollecitazioni dei componenti. Affidabilità e impiego nei sistemi flessibili di lavorazione. Sistemi di alimentazione. Meccanica delle apparecchiature di alimentazione ed orientamento. Sistemi passivi ed attivi di assemblaggio. La sensorizzazione dei sistemi di assemblaggio.

Robot di montaggio. Robot di manipolazione. Robot per saldatura a punti e continua. Robot di verniciatura. Robot speciali: autolocomotori, per protezione civile ed applicazioni mediche, per applicazioni spaziali, minerarie, oceaniche, nucleari.

Elementi di valutazione economica sull'impiego dei robot.

### BIBLIOGRAFIA.

Vukobratovic, Portkonjak, *Dynamics of manipulation robots*, Springer, 1982.

Vukobratovic, Stokic, *Control of manipulation robots*, Springer, 1982.

R. Paul, *Robot manipulators : mathematics, programming and control*, MIT Press, 1981.

## H 3500      **Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici**

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 36 laboratori 4 (settimanali 6/4)

Prof. Grazia Vicario (Matematica)

Scopo del corso è quello di fornire agli allievi sia nozioni fondamentali di calcolo delle probabilità e statistica, che consentano gli opportuni approfondimenti in campo teorico, sia conoscenze a livello operativo dei principali metodi statistici applicati in campo tecnico ed economico. A tal fine, accanto alla trattazione teorica, viene riservato un opportuno spazio per la trattazione di problemi pratici di frequente ricorrenza, illustrando, mediante esempi, applicabilità e limiti dei metodi usati.

**REQUISITI.** Analisi matematica, Geometria e algebra.

### PROGRAMMA

#### *Probabilità.*

Definizioni di probabilità e loro applicabilità. Nozioni di calcolo combinatorio. Regole di calcolo delle probabilità. Probabilità a posteriori: il teorema di Bayes.

#### *Distribuzioni.*

Concetti di popolazione, campione e metodi di campionamento, variabile casuale (discreta e continua), frequenza. Distribuzioni di variabili discrete e continue. Distribuzioni teoriche; parametri principali relativi a posizione, dispersione, forma. Distribuzioni congiunte. Applicazioni allo studio dell'affidabilità. Processi stocastici.

#### *Statistica descrittiva.*

Distribuzioni sperimentali: classi, rappresentazioni grafiche. Misure di tendenza centrale e di dispersione. Metodi grafici; GPN e suo impiego diagnostico.

#### *Inferenza statistica.*

Distribuzioni campionarie: teorema del limite centrale, sue applicazioni ed implicazioni. Stima puntuale: stimatori e loro proprietà. Metodo della massima verosimiglianza. Intervallo di fiducia e limiti di fiducia per medie, osservazioni a coppie, varianze, proporzioni. Basi logiche di un *test* di ipotesi. Tipi di errori e loro controllo: livello e *test* di significatività. Curve caratteristiche operative e loro uso. *Test* riguardanti le medie, le proporzioni, la varianza e confronto fra due o più varianze.

#### *Analisi della varianza.*

Analisi della varianza per uno e due fattori controllati. Replicazioni.

#### *Regressione.*

Regressione lineare semplice (valutazione di adattamento e variabilità residua), analisi della varianza, osservazioni ripetute. Regressione multipla: calcolo con procedimento matriciale, analisi della varianza. Correlazione: usi ed abusi;

#### *Cenni sulla progettazione degli esperimenti.*

Interdipendenza tra criteri di analisi dei risultati e criteri di pianificazione delle prove. Progetto di prove completamente casualizzate. Progettazione a nido. Progetto a blocchi. Quadrati latini. Esperimenti fattoriali: effetti principali e interazioni. Blocchi e frazionamenti: implicazioni.

### BIBLIOGRAFIA

Miller, Freund, *Probability and statistics for engineers*, Prentice-Hall International.

## H 3690      **Misure per l'automazione e la produzione industriale**

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 4 esercitazioni 4

Prof. Franco Ferraris (Elettronica)

Il corso intende fornire le nozioni fondamentali sui metodi e gli strumenti di misura usati nell'automazione industriale. Sono descritti i principali sensori ed attuatori, con segnale di misura/attuazione elettrico, utilizzati nel controllo dei processi e gli strumenti sia analogici sia digitali per la misurazione di grandezze elettriche. Particolare enfasi è data agli strumenti a microprocessore e ai sistemi automatici di acquisizione e distribuzione dei dati.

Le esercitazioni sperimentali di laboratorio, svolte dagli studenti suddivisi in gruppi, hanno lo scopo di far acquisire familiarità con gli strumenti e i metodi illustrati a lezione.

### PROGRAMMA

1. La misurazione di grandezze tempovarianti. Le scale del tempo. I campioni. La caratterizzazione dinamica degli apparati di misura.
2. I convertitori D/A ed A/D. Richiami sul campionamento dei segnali. Caratteristiche metrologiche dei convertitori. Convertitori ad approssimazioni successive, ad inseguimento, ad integrazione, sigma-delta.
3. I processi automatici di misurazione. Le caratteristiche fondamentali. La struttura. Le interfacce.
4. Gli strumenti intelligenti. Le caratteristiche fondamentali. L'architettura di uno strumento intelligente.
5. Generalità sui sistemi di acquisizione automatica dei dati (SAD). Le caratteristiche fondamentali. L'integrazione nel processo produttivo di una fabbrica. Gli elementi funzionali: interfacce (modello ISO-OSI), i *bus* (i principali *standard*), i circuiti di condizionamento, le unità di elaborazione e gestione. L'architettura di un SAD. Esempi di SAD. I SAD per il collaudo ed il controllo della qualità (ATE).
6. Interfacce parallele (Centronics, GPIO) e seriali (RS232C) per il SAD.
7. Il bus VME e VXI. *Data transfer bus*, *data arbitration bus*, *interrupt bus*, *utility bus*. Modalità di comunicazione.
8. Il bus IEEE 488 e IEC 625. La struttura del *bus*. I tipi di comandi. L'indirizzamento. *Serial poll* e *parallel poll*. Introduzione alle estensioni (IEEE 488.2).
9. Generalità sui sensori di grandezze fisiche e loro caratterizzazione metrologica. Applicazioni nel campo della robotica e della produzione industriale.
10. I sensori di temperatura: le scale di temperatura; i principali tipi di sensori: termoresistenze e termocoppie; cenni ad altri tipi di sensori.
11. Cenni ai sensori per la misurazione di grandezze meccaniche: forza, posizione, velocità, accelerazione.
12. Esempi di attuatori: motori in *cc* e a passo, attuatori pneumatici.

### ESERCITAZIONI

Uso di un sistema di acquisizione dati basato su *personal computer*. Prove con segnali elettrici e con sensori di temperatura e forza. Uso di programmi applicativi esistenti sul mercato. Scrittura di programmi di acquisizione. Elaborazione dei dati acquisiti.

## H 3770 Modelli per l'organizzazione e la gestione dei sistemi

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 4 esercitazioni 4

Prof. Maria Franca Norese (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienda)

Il corso intende fornire un quadro generale delle problematiche connesse con la modellizzazione di sistemi complessi e presentare differenti approcci teorici ed operativi. Alcuni tra i principali strumenti di analisi ed identificazione (di elementi, relazioni, procedure e processi del sistema in esame) e di strutturazione, valutazione e gestione del sistema modellizzato saranno presentati ed analizzati in relazione a casi reali di modellizzazione.

### PROGRAMMA

*Sistemi e complessità:* caratteristiche di complessità in relazione a situazioni strutturate (prevalenti ad esempio nei sistemi biologici o meccanici) ed a situazioni poco o per nulla strutturate, tipiche dei sistemi organizzativi e socio-tecnici; strumenti per il riconoscimento e la classificazione di situazioni a differente complessità.

*Sistemi e misura:* natura della misura, scale di misura, valutazioni per i metodi multicriteri, problemi associati (precisione, significatività, incertezza, validazione...).

*Approcci di modellizzazione:* processi, metodologie e tecniche (diagrammatiche, analitiche, statistiche e logiche); strumenti di supporto alla strutturazione e gestione di modelli (*structural and structured modeling; model management systems*).

*Approccio sistemico ai problemi:* strumenti della ricerca operativa, dell'analisi dei sistemi e dell'ingegnerizzazione dei sistemi (sia in relazione alla *concurrent engineering* che al *soft systems thinking*).

### ESERCITAZIONI

Analisi e modellizzazione di situazioni problematiche connesse all'organizzazione e gestione di sistemi informativi, decisionali e di coordinamento e controllo. Analisi ed utilizzo di strumenti *software* (LEP).

**BIBLIOGRAFIA.** Appunti del corso e documenti distribuiti durante le lezioni.



## H 3780 Modellistica di sistemi elettromeccanici

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 50 esercitazioni 50 laboratori 12 (settimanali 4/4/1)

Prof. Mario Lazzari (Ing. elettrica industriale)

Il corso fornisce le nozioni basilari e le metodologie fondamentali per lo studio dinamico delle macchine elettriche. Esso funge da completamento per gli argomenti trattati nel corso di *Macchine elettriche* e fornisce la preparazione necessaria ad affrontare gli argomenti trattati nei corsi dell'indirizzo di *Automazione*.

### PROGRAMMA.

Il programma si divide in due parti: una a carattere prevalentemente matematico metodologico, l'altra a carattere prevalentemente applicativo.

*Parte 1, Modellistica delle macchine elettriche in condizioni dinamiche.*

- Trasformazioni di sistemi di riferimento per lo studio delle macchine elettriche. Trasformazioni trifase-bifase. Trasformazioni di rotazione. Trasformazioni vettoriali.
- Modello dinamico del motore asincrono. Rappresentazione su assi fissi e su assi rotanti.
- Modello dinamico del motore sincrono. Rappresentazione su assi sincroni.
- Modello dinamico del motore a corrente continua.
- Cenni sulle modalità di rappresentazione delle non linearità.
- Metodi numerici per la modellizzazione delle macchine elettriche.

*Parte 2, Analisi del funzionamento delle macchine elettriche in regime non sinusoidale.*

- Cenni sulle principali strutture di conversione statica.
- Trasformatori per conversione *ca-cc*.
- Comportamento delle macchine in *ca* a frequenza variabile.
- Sollecitazioni e funzionamento delle macchine elettriche alimentate staticamente.

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni prevedono un largo impiego del calcolatore e sono dedicate alla costruzione di semplici programmi di simulazione per lo studio del comportamento di sistemi elettromeccanici.

**LABORATORIO.** L'attività di laboratorio è complementare alle esercitazioni ed è destinata alla determinazione dei parametri e alla verifica dei modelli.

## H 3800 Modellistica e identificazione

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 20 (settimanali 6/2)

Prof. Vito Mauro (Automatica e informatica)

Il corso si propone di dare agli studenti elementi di base per i problemi di rappresentazione di sistemi dinamici mediante modelli matematici approssimati e identificati da misure sperimentali. Il corso quindi tratta i problemi di approssimazione e dedica ampio spazio alla probabilità, alla statistica e ai processi stocastici. I metodi di identificazione presentati vengono illustrati con alcune applicazioni a problemi reali su modelli anche relativamente complessi.

REQUISITI. *Teoria dei sistemi.*

### PROGRAMMA.

Spazi lineari, spazi normati (richiami), spazi di Hilbert. Problemi di norma minima negli spazi di Hilbert. Applicazione a problemi di approssimazione lineari. Metodi ricorsivi. Procedura di Gram-Schmidt. Applicazioni a sistemi dinamici lineari. Modelli *arma*. Applicazioni a problemi di rappresentazione.

Introduzione alla probabilità, nozioni fondamentali. Il problema della stima. Proprietà delle stime. La stima di massima verosimiglianza. Applicazione a problemi lineari: stime di minimi quadrati, di Gauss-Markov, di massima verosimiglianza. Generalizzazione a modelli lineari e non lineari. Il filtro di Kalman discreto come stimatore di massima verosimiglianza. Altri stimatori ricorsivi.

I processi stocastici, nozioni fondamentali, correlazioni e spettri e loro stime. Relazioni tra spettri su sistemi lineari. Applicazione all'identificazione. Spazi variabili aleatorie. Ortogonalizzazione di processi e fattorizzazioni. Relazione col filtraggio.

Illustrazione su casi pratici. Problemi di identificabilità. Problemi di complessità del modello.

ESERCITAZIONI. Applicazioni della teoria a casi semplici con sviluppo dei calcoli o impostazione dettagliata degli algoritmi. Tecniche numeriche per modelli dinamici.

### BIBLIOGRAFIA

Appunti distribuiti a lezione.

G. Menga, *Appunti di modellistica e identificazione*, CELID, Torino.

Bittanti, Guardabassi, *Sistemi incerti*, CLUP, Milano.

## H 3850 Oleodinamica e pneumatica

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 52 (settimanali 6/4)

Prof. Nicola Nervegna (Energetica)

Il corso si propone di fornire agli allievi le nozioni di base necessarie per l'utilizzazione, la scelta e la progettazione di sistemi oleodinamici e pneumatici di potenza e regolazione applicati a veicoli, impianti industriali, macchine utensili, ecc.. Partendo da una impostazione funzionale dell'analisi dei sistemi, si giunge alla descrizione dei singoli componenti. Particolare cura viene dedicata all'approccio sistemistico dei temi trattati.

**REQUISITI.** *Macchine, Fisica tecnica, Meccanica dei fluidi.*

### PROGRAMMA

1. *Analisi funzionale dei sistemi oleodinamici.*

Gruppi di alimentazione a portata fissa e variabile. Collegamenti semplici e multipli di motori e martinetti oleodinamici. Sistemi di controllo a retroazione e servo-sistemi

2. *Fluidi utilizzati e componenti collegati.*

Tipi di fluidi, loro classificazione, caratteristiche fisico-chimiche e termodinamiche. Condizionamento termico del fluido. Contaminazione e filtrazione. Elementi costitutivi dei circuiti.

3. *Componenti di controllo.*

Caratteristiche stazionarie e dinamiche, analisi delle perdite in distributori a posizionamento discreto e continuo. Valvole di controllo della pressione e della portata. Servovalvole. Valvole proporzionali.

4. *Organi operatori e motori.*

Pompe oleodinamiche rotative, alternative e rotoalternative. Accumulatori, analisi termodinamica per il dimensionamento. Motori oleodinamici per alte e basse velocità di rotazione. Martinetti oleodinamici lineari e rotativi.

5. *Analisi funzionale dei sistemi pneumatici.*

Gruppi di alimentazione e condizionamento. Gruppi di utilizzazione con motori e martinetti pneumatici.

6. *Componenti pneumatici.*

Distributori. Valvole regolatrici di pressione e portata. Ciclo di lavoro e prestazioni dei motori pneumatici. Prestazioni stazionarie e dinamiche dei martinetti pneumatici.

### ESERCITAZIONI.

Circuiti caratteristici e loro analisi quantitativa. Circuiti *load-sensing* e loro studio mediante modelli matematici semplificati. Studio dei dispositivi e controlli di variazione della cilindrata in pompe e motori oleodinamici e loro caratteristiche. Realizzazioni costruttive di componenti e loro modelli funzionali. Trasmissioni idrostatiche in circuito aperto e in circuito chiuso, loro regolazione, campi di applicazione e diagrammi caratteristici.

**LABORATORI.** Studio sperimentale su banchi prova dei temi affrontati per via teorica nelle esercitazioni. Esame critico di particolari costruttivi di componenti oleodinamici e pneumatici.

## H 4550 Ricerca operativa

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 2

Prof. Roberto Tadei (Automatica e informatica)

Il corso ha l'obiettivo di dotare lo studente di adeguati strumenti per modellare e risolvere una serie di problemi propri dell'ingegneria elettronica, informatica e automatica, quali: *circuit design, signal trasmission, computer vision, fault diagnosis, sequencing and scheduling, computational complexity analysis etc.*

La modellazione del problema consiste nella costruzione di un modello matematico, in generale un modello di ottimo, in grado di descrivere il problema in termini di: variabili di controllo, obiettivi da raggiungere, vincoli da soddisfare. La risoluzione del problema consiste nella individuazione dei valori delle variabili di controllo che perseguono l'obiettivo nel rispetto dei vincoli. Detta risoluzione richiede l'utilizzo di adeguati algoritmi, alcuni dei quali appartengono ad una bibliografia ormai consolidata, mentre altri sono frutto di ricerche in corso.

**REQUISITI.** *Analisi matematica 2, Fondamenti di informatica 2.*

### PROGRAMMA.

Cenni storici.

*Programmazione lineare.*

Formulazione del problema. Proprietà generali di un programma lineare. Soluzioni di base. Teorema fondamentale della programmazione lineare. Metodo del simplesso. Teoria della dualità. Metodo del simplesso duale e sua interpretazione economica. Analisi di sensitività.

*Programmazione combinatoria (problemi polinomiali).*

Matroidi e algoritmo *greedy*. Intersezione di materiali. Polimatroidi, accoppiamenti e algoritmi casuali.

*Programmazione combinatoria (problemi NP-difficili).*

Algoritmi di enumerazione implicita. Algoritmi poliedrali. Algoritmi approssimati ed euristici.

*Programmazione non lineare.*

Formulazione del problema. Condizioni di ottimalità per problemi non vincolati. Algoritmi per problemi non vincolati: metodo del gradiente, metodo di Newton-Raphson. Condizioni di ottimalità per problemi vincolati. Algoritmi per problemi vincolati: metodo delle direzioni ammissibili, metodo della funzione di penalità, metodo dei lagrangiani aumentati.

*Programmazione dinamica.*

Formulazione del problema. Principio di ottimalità di Bellman. Problemi non vincolati e vincolati.

### ESERCITAZIONI E LABORATORI.

Saranno svolte esercitazioni dedicate allo studio di casi reali. Di detti casi verrà costruito il modello matematico ed il relativo algoritmo risolutivo. Le esercitazioni saranno integrate con prove al calcolatore di algoritmi risolutivi.

### BIBLIOGRAFIA.

M.S. Bazaraa, J.J. Jarvis, *Linear programming and network flows*, Wiley, 1977.

M. Gendran, M. Minoux, *Graphs and algorithms*, Wiley, 1984.

D.J. Luenberger, *Introduction to linear and nonlinear programming*, Addison-Wesley, 1973.

P. Maffioli, *Elementi di programmazione matematica, Vol.1 e 2*, Masson, Milano, 1990.

M. Minoux, *Mathematical programming : theory and algorithms*, Wiley, 1986.

## H 4700 Sensori e trasduttori

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 4 esercitazioni 2 laboratori 4

Prof. Andrea De Marchi (Elettronica)

Il corso ha lo scopo di fornire un quadro aggiornato sui principi fisici di funzionamento, sui materiali e le tecnologie costruttive, sulle modalità di impiego e di inserimento in strumentazione complessa, sui criteri e tecniche di caratterizzazione metrologica dei sensori nel campo dei processi industriali.

### PROGRAMMA

1. Definizione e classificazione dei sensori e trasduttori; caratteristiche metrologiche; metodi di caratterizzazione.
2. Principi di funzionamento; tecniche di trasduzione; trasduttori resistivi, capacitivi, a variazione di induttanza e riluttanza magnetica; trasduttori piezoelettrici.
3. Tecnologie di produzione; *film* spesso e *film* sottile.
4. Sensori per la misurazione di grandezze fisiche: temperatura, lunghezza, posizione e spostamento, velocità, accelerazione e vibrazione, forza, coppia e deformazione, pressione, flusso e portata, livello; cenni a sensori di umidità, suono, densità.
5. Strumentazione per misure industriali con metodi "non a contatto"; sensori ad ultrasuoni; sensori ottici e a fibre ottiche; metodi interferometrici.
6. Sensori intelligenti.
7. Condizionamento e conversione del segnale; ponti a trasduttori; amplificatori per strumentazione; circuiti per trasduttori e trasformatore differenziale; cenni alle tecniche di conversione analogico/digitale.

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula hanno lo scopo di presentare le esercitazioni di laboratorio e di discuterle dopo che sono state svolte.

**LABORATORIO.** Le esercitazioni sperimentali di laboratorio, svolte dagli studenti suddivisi in gruppi, riguardano l'uso e la caratterizzazione di differenti tipi di sensori utilizzati nell'automazione industriale.

## H 5450    Tecnica della sicurezza elettrica

Anno: periodo 5:1    Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 20    (settimanali 6/2)

Prof. Vito Carrescia (Ing. elettrica industriale)

Il corso ha lo scopo di fornire all'allievo gli elementi utili per conseguire una utilizzazione dell'energia elettrica sicura per le persone.

**REQUISITI.** Per un'attiva partecipazione è necessario che l'allievo possieda le nozioni basilari dell'elettrotecnica.

### PROGRAMMA

Introduzione alla filosofia della sicurezza.

Effetti della corrente elettrica sul corpo umano. *Macroshock, microshock*. Limiti di sicurezza.

Generalità sui sistemi di protezione.

Sistemi di protezione contro i contatti indiretti sui sistemi TT, TN, IT e senza interruzione del circuito. Compatibilità di collegamento a terra delle masse in alta e bassa tensione e del neutro.

Sistemi di protezione contro i contatti diretti. Interruttori differenziali: campo d'impiego, limiti protettivi.

Tecnica della sicurezza nelle applicazioni elettromedicali.

Protezione delle condutture contro i sovraccarichi e cortocircuiti.

Sezionamento, comando, arresto d'emergenza.

Impianti elettrici nei luoghi con pericolo d'esplosione e incendio (per elettrotecnici).

Elementi di protezione contro le radiazioni ionizzanti e non ionizzanti (per elettronici).

Sezionamento e comando.

Alimentazione di emergenza e di sicurezza.

Cenni alla protezione contro le scariche atmosferiche.

Collaudi e verifiche.

**ESERCITAZIONI.** Le esercitazioni consisteranno in applicazioni pratiche dei principi di sicurezza generali e potranno essere condotte anche al di fuori dell'area del Politecnico, direttamente sull'impianto o apparecchio oggetto dell'esercizio.

### BIBLIOGRAFIA.

Norme del CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano) 11-1, 11-8, 64-2, 64-4, 64-8, 81-1.

V. Carrescia, *Tecnica della sicurezza elettrica*, Hoepli.

## H 5640 Tecnologia meccanica

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 48 esercitazioni 30 (settimanali 4/4)

Prof. Francesco Spirito (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienda)

Obiettivi del corso sono: fornire l'insieme di nozioni necessarie a comprendere come possa essere utilizzato e prodotto un particolare meccanico; analizzare i diversi elementi componenti la macchina utensile in modo da fornire di quest'ultima una visione sistematica; studiare i fondamenti teorici dei processi di lavorazione con asportazione di materiale e per deformazione plastica; introdurre i primi rudimenti di gestione delle macchine utensili; presentare una panoramica delle lavorazioni non convenzionali.

**REQUISITI.** Capacità di lettura di un disegno tecnico e nozioni elementari sulle caratteristiche dei materiali metallici.

### PROGRAMMA

La prima parte del corso ha carattere prevalentemente propedeutico e dà un'ampia panoramica dei principali elementi componenti la macchina utensile; vengono altresì sviluppati gli aspetti teorici connessi alle operazioni di taglio con asportazione di materiale.

Ampio spazio viene dedicato alle macchine utensili a CN, sviluppandone sia l'aspetto costruttivo sia l'aspetto applicativo. Vengono trattate le basi del linguaggio di programmazione. In stretta connessione con le macchine a CN, si parla di sistemi integrati di produzione e di *computer assisted manufacturing* (CAM).

Vengono ancora trattate le lavorazioni per deformazione plastica vedendole come mezzo per l'ottenimento di semilavorati per le lavorazioni ad asportazione di truciolo. In questo capitolo del corso si dà un breve cenno delle lavorazioni sulle lamiere con particolare riferimento a quelle impiegate nell'industria aerospaziale.

La parte finale del corso è dedicata ad una panoramica delle tecnologie di lavorazione non convenzionali (EDM, ECM, laser, ecc.).

### ESERCITAZIONI.

Il corso è integrato da una serie di lezioni-esercitazioni attinenti la stesura di cicli di lavorazione e lo studio delle principali macchine universali impiegate nella produzione meccanica: torni, trapani, fresatrici, alesatrici, rettificatrici.

### BIBLIOGRAFIA.

G.F. Micheletti, *Il taglio dei metalli e le macchine utensili*, UTET, Torino.

R. Ippolito, *Appunti di tecnologia meccanica*, Levrotto & Bella, Torino, 1974.

R. Ottone, *Macchine utensili a comando numerico*, ETAS Kompas.

## H 0380 Azionamenti elettrici

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 104 esercitazioni 16 (settimanali 8/2)

Prof. Francesco Profumo (Ing. elettrica industriale)

Il corso tratta le diverse tipologie di azionamenti elettrici per applicazioni industriali.

### PROGRAMMA.

#### *Note introduttive.*

Definizione di azionamento e degli elementi costituenti: attuatori elettromeccanici, strutture elettroniche di potenza e strutture di controllo. Tipologie di azionamenti *dc* e *ac* e principali campi di applicazione.

#### *Strutture elettroniche di potenza.*

Componenti elettronici di potenza: diodi, SCR, GTO, BJT, MOSFET, IGBT. Riepilogo dei convertitori *ac/dc* e tipologie di controllo. Tipologie di convertitori *dc/dc*. Tipologie di convertitori *ac/ac* senza *link* in continua: *back to back* e convertitori a matrice. Tipologie di convertitori *ac/ac* con *link* in continua: *hard switching* e *soft switching*. *Inverter* a tensione impressa e a corrente impressa.

#### *Attuatori elettromeccanici.*

Riepilogo delle equazioni della macchina *dc* e tipologie di motori a campo avvolto e a magneti permanenti. Riepilogo delle nozioni basi dei motori ad induzione e dei motori sincroni con riferimento alle applicazioni a velocità variabile.

#### *Strutture di controllo.*

Generalità sul comando in tensione e sul comando in corrente. Tipologie di modulatori (analogici e digitali) e tecniche di modulazione in anello aperto e con riferimenti generati in anello chiuso. Controlli analogici e digitali.

#### *Azionamenti dc.*

Azionamenti con strutture di potenza a ponte e controllo della tensione di armatura e della tensione di campo. Anelli di corrente. Controllo a coppia costante e a potenza costante. Azionamenti con strutture di potenza a *chopper*.

#### *Azionamenti ac per motori ad induzione.*

*Soft start*. Azionamenti ad *inverter* a corrente impressa. Azionamenti ad *inverter* a tensione impressa: ad onda quadra e modulati. Metodi scalari di controllo. Azionamenti per il controllo della frequenza e per il controllo della coppia. Azionamenti con *inverter* di tensione di tipo *V/f* costante: anello aperto, con anello di velocità, con controllo di scorrimento, controllo di coppia e di flusso. Azionamenti di tipo CRPWM. Azionamenti con *inverter* di corrente. Limiti delle soluzioni presentate. Metodi vettoriali di controllo.

#### *Azionamenti ac per motori sincroni.*

Metodi scalari di controllo: anello aperto di tipo *V/f* costante, autocontrollo, cicloconvertitore. Metodi vettoriali di controllo: cicloconvertitore, motori a magneti permanenti.

### BIBLIOGRAFIA

T.A. Lipo, D.W. Novotny, *Electromechanical systems*, Note del corso ECE 411, Univ. of Wisconsin, Madison, 1986.

W. Leonhard, *Control of electrical drives*, Springer, Berlin [etc.], 1985.

B.K. Bose, *Power electronics and AC drives*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1986.



## H 0391      Azionamenti elettrici per l'automazione (applicativo)

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 60 laboratori 20 (settimanali 6)

Prof. Alfredo Vagati (Ing. elettrica industriale)

Il corso analizza in particolare gli azionamenti elettrici adatti al controllo di posizione e, più in generale, le soluzioni di azionamento classiche e innovative, tipiche delle macchine utensili a controllo numerico, della robotica e dell'automazione industriale di tipo sofisticato. Viene data particolare enfasi alle soluzioni applicate industrialmente e alle relative problematiche d'impiego.

### PROGRAMMA

Strutture di controllo per azionamenti ad alte prestazioni. *Cascade control*. Funzionamento in presenza di saturazione. Effetto del *ripple* del trasduttore meccanico. Impiego di osservatori per il controllo robusto e la compensazione del disturbo additivo. Servo motori in corrente continua. Struttura del servo motore e materiali magnetici permanenti impiegati. Sovraccaricabilità termica e magnetica.

Convertitore elettronico di potenza per servoazionamenti in corrente continua (*chopper*). Struttura a quattro quadranti. Tecniche di comando e tecniche di modulazione. Perdite dovute alla regolazione *switching*. Bilancio energetico.

Componenti elettronici di potenza impiegati negli azionamenti in oggetto (BJT, MOSFET, IGBT). Problematiche di commutazione. Perdite. Esigenze di pilotaggio. Commutazione non assistita e assistita.

Servomotori *brushless* (sincroni a magneti permanenti); caso "trapezio". Problemi costruttivi. Modellistica, analisi della commutazione tra fasi. Struttura di controllo (di coppia). Sensori. Caso "sinusoidale". Problemi costruttivi, modellistica (caso di rotore isotropo e anisotropo). Struttura di controllo vettoriale (di coppia), sensori.

Convertitore elettronico di potenza per servoazionamenti in corrente alternata (*inverter* modulato). Struttura. Tecniche di modulazione vettoriale. Problematiche tipiche del caso trifase.

Motori a induzione controllati mediante "orientamento di campo". Modellizzazione, principio di controllo. Esigenza di osservazione dello stato. Tipologie di controllo impiegate industrialmente.

Motori a riluttanza (sincroni) ad alta anisotropia. Principio di funzionamento e particolarità costruttive. Problematiche di controllo. Campi di possibile impiego.

Confronto di prestazione e di costi tra le diverse soluzioni di azionamento su citate e opportunità d'impiego nei diversi settori dell'automazione industriale.

**LABORATORI.** Verranno svolte esercitazioni pratiche su uno o più sistemi di azionamento, tra quelli citati.

## H 0450 Biomeccanica

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 40 laboratori 10 (settimanali 4/4)

Prof. Massimo Rossetto (Meccanica)

Il corso ha lo scopo di fornire agli allievi una panoramica delle problematiche e delle principali metodologie della biomeccanica; verranno inoltre approfondite tematiche riguardanti i materiali biologici o di sostituzione nell'ambito della biomeccanica. Verranno anche illustrati alcuni casi applicativi.

### REQUISITI

*Meccanica razionale, Meccanica applicata alle macchine, Scienza delle costruzioni.*

### PROGRAMMA

*Introduzione alla biomeccanica.*

Origini e problematiche della biomeccanica: richiami storici e presentazione delle principali aree di intervento della biomeccanica. Richiami di fisiologia: apparato locomotore, ossa, articolazioni, muscoli scheletrici, legamenti.

*Metodi sperimentali in biomeccanica.*

Tecniche, attrezzature e metodologie di rilevazione dei dati meccanici del corpo umano. Tecniche e metodi per l'analisi delle tensioni e delle deformazioni in strutture biologiche.

*Materiali.*

Caratterizzazione di materiali biologici (osso, muscoli, legamenti, pelle, tessuti molli). Biomateriali: caratterizzazione, biocompatibilità, problematiche.

*Analisi del movimento.*

Tecniche sperimentali per l'analisi del movimento. Modelli matematici per la simulazione del movimento.

*Resistenza del corpo umano alle azioni dinamiche.*

*Interazione uomo-veicolo (modelli matematici e modelli sperimentali).*

In condizioni normali per la valutazione del *comfort*. In condizioni d'urto per la valutazione del danno.

*Applicazioni.*

Biomeccanica della colonna vertebrale e mezzi di correzione. Arti artificiali passivi: problematiche funzionali e strutturali. Attrezzature di aiuto ai disabili. Cenni sugli organi artificiali.

## H 0870 Controllo digitale

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 24 (settimanali 6/2)

Prof. Maurizio Vallauri (Automatica e informatica)

Il corso ha l'obiettivo di presentare in modo organico e approfondito i fondamenti teorici e le principali metodologie di analisi e sintesi di controlli digitali.

### PROGRAMMA

1. Descrizione matematica di segnali e sistemi campionati. La trasformata z. Descrizione di sistemi campionati mediante la trasformata z.
2. Stabilità dei sistemi campionati. Criteri fondamentali di stabilità. Criteri algebrici di stabilità.

3. I sistemi campionati lineari nello spazio di stato. Equazioni di stato. Regolazione per tempo di assestamento finito (*dead-beat*) e controllabilità. Regolazione con assegnazione degli autovalori. Regolazione modale. Osservatore dello stato e osservabilità.
4. Regolazioni adattive. Regolatori con modello di riferimento (MRAS). Il modello di errore. Teoria della iperstabilità e suo impiego nel progetto del regolatore. Regolatori *self-tuning* o con modello da identificazione (MIAS).

#### BIBLIOGRAFIA

Durante il corso gli allievi avranno a disposizione una copia riproducibile di appunti sulla maggior parte della materia trattata. Il corso si appoggia principalmente a:  
O. Föllinger, *Lineare Abtastsysteme*, 4. Aufl., Oldenbourg, Munchen, Wien, 1990.

## H 1360      **Disciplina giuridica delle attività tecnico-ingegneristiche**

Anno:periodo 5:2    Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 10    (settimanali 4/2)

Prof. Luciano Orusa (Ing. dei sistemi edili e territoriali)

Il corso costituisce una forma istituzionale di approccio alle materie giuridiche per i futuri ingegneri. Accanto alle nozioni istituzionali di carattere generale viene però sviluppato un complesso di nozioni specifiche relative alle attività professionali degli ingegneri, raggiungendovi da tali punti un certo approfondimento specialistico.

#### PROGRAMMA

Il programma comprende le principali nozioni circa i concetti di diritto e di Stato, nonché intorno al diritto di famiglia e a quello delle successioni; in forma più ampia ed approfondita si studiano invece i diritti reali e le obbligazioni (con particolare riferimento al contratto di appalto).

In materia di Società viene esaminata con particolare cura la società per azioni. Analoga attenzione è dedicata ai concetti di marchio, azienda, ditta, invenzione industriale. Viene altresì esaminata la tutela dei diritti, con le nozioni fondamentali circa la giurisdizione civile ordinaria e il regime delle prove.

Particolare attenzione è dedicata alla disciplina del fallimento e delle altre procedure concorsuali. Particolare ampiezza è altresì rivolta agli atti amministrativi, alla tutela nei confronti dell'amministrazione pubblica e alla giustizia amministrativa, all'urbanistica, all'edilizia, alla espropriazione per pubblica utilità, all'esecuzione delle opere pubbliche e all'appalto pubblico.

Circa le specifiche attività professionali degli ingegneri, si esaminano le norme e i principi regolanti la redazione dei progetti edili e la loro realizzazione (norme sui cementi armati, norme sulle zone sismiche) ed i principi su cui si basano le responsabilità dell'ingegneria all'interno delle grandi imprese, con particolare riferimento ai danni cagionati dal prodotto.

**ESERCITAZIONI.** Periti e perizie, responsabilità del progettista e del direttore dei lavori, responsabilità penali dell'ingegnere, norme deontologiche.

#### BIBLIOGRAFIA

Orusa, *Istituzioni di diritto*, Torino, Giorgio, 1992.

Orusa, Cicala, *Appunti di diritto*, Giorgio, 1991.

È consigliato l'acquisto di un codice civile e di un codice amministrativo.

## H 1570      **Elaborazione di dati e segnali biomedici**

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 84 laboratori 28 (settimanali 6/2)

Docente da nominare (Elettronica)

Fine del corso è fornire una panoramica delle tecniche avanzate di elaborazione di dati sperimentali, segnali ed immagini di interesse nel settore biomedico.

**REQUISITI.** Conoscenze di base di analisi dei segnali e di teoria delle probabilità.

### PROGRAMMA

Analisi statistica di dati sperimentali: descrizione e proprietà di dati sperimentali, richiami di teoria delle probabilità, analisi statistica elementare e teoria della stima, *test* di ipotesi, analisi della regressione, correlazione e varianza. Classificazione statistica, estrazione di caratteristiche e tecniche di suddivisione in classi. Applicazioni dell'analisi statistica dei dati alla valutazione dell'efficacia di trattamenti farmacologici e riabilitativi, ad indagini epidemiologiche e come supporto alla diagnosi.

Caratteristiche dei principali segnali di interesse nel settore biomedico: ENG, ERG, EOG, EEG, EP, EMG, ECG, EGG, GSR, EDR.

Tecniche di rivelazione del segnale: tecniche di rivelazione statistica e rivelatori basati sulla morfologia dell'evento. Applicazioni al sistema cardiocircolatorio, neurosensoriale e motorio.

Stima spettrale mediante metodi non parametrici e parametrici; caratterizzazione statistica degli errori di stima. Applicazioni ai segnali EMG, EEG, ECG, ... Definizione di spettri di ordine superiore e discussione delle caratteristiche del bispettro. Applicazioni del bispettro alla riduzione del rumore, alla rivelazione di eventi casuali ed all'interpretazione dello spettro di potenza di segnali deterministici o stocastici.

Tecniche di compressione dati e riduzione della ridondanza per segnali mono- e bidimensionali. Applicazioni all'elettrocardiografia dinamica, all'elettroencefalografia ed all'elettromiografia.

Tecniche di filtraggio numerico: filtraggio numerico tradizionale (IIR, FIR, FIR anti-causali, ...), filtraggio statistico, filtri ottimi (Wiener, Kalman, ...).

Tecniche di riduzione del rumore applicate a problemi specifici quali l'ECG fetale, i potenziali evocati somatosensoriali, ...

Elaborazioni di immagini: codifica, filtraggio, ricostruzione di immagini; identificazione di contorni, misura di aree; tecniche di sottrazione digitale di immagini; tecniche di ricostruzione tridimensionale. Presentazione delle tecniche utilizzate in ecografia, TAC, angiografia digitale, PET, NMR, ...

### ESERCITAZIONI

Generalmente lezioni ed esercitazioni non saranno separate in modo preciso, ma all'esposizione della teoria seguiranno esempi applicativi ed esercizi in misura tale da rendere agevole la comprensione degli argomenti esposti. Sono previste alcune esercitazioni al calcolatore che consisteranno nello studio di problemi specifici utilizzando dati e segnali reali.

### BIBLIOGRAFIA

J.S. Bendat, A.G. Piersol, *Random data : analysis and measurement procedures*, 2nd edition, Wiley, 1986

C. Marchesi, *Tecniche numeriche per l'elaborazione dei segnali biomedici*, Pitagora, Bologna.

C.J. De Luca, M. Knaflitz, *Surface electromyography : what's new ?*, CLUT, 1992.

## M 2370 Gestione dei progetti di impianto

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 56 (settimanali 4/4)

Prof. Armando Monte (Idraulica, trasporti e infrastr. civili)

La gestione dei progetti o *project management* consiste prevalentemente nella programmazione e nel controllo di tutte le attività richieste per l'esecuzione di lavori o commesse caratterizzati da precisi obiettivi di tempo, costo e qualità. Tale gestione presuppone un efficace lavoro di gruppo ed una buona conoscenza di alcuni aspetti fondamentali dei "progetti": da quelli teorico-organizzativi a quelli economici e contrattualistici. Il corso si propone di dare una visione complessiva di tali aspetti del *project management* relativamente a lavori impiantistici.

### PROGRAMMA

Il *project management* nelle aziende che operano a commessa.

Esempi di progetti impiantistici.

Fasi di sviluppo delle commesse: progettazione, approvvigionamenti, costruzioni, montaggi, collaudi.

Modelli organizzativi delle società che gestiscono progetti.

Studi di fattibilità; tecniche di preventivazione; valutazione delle offerte.

La programmazione del progetto.

Misura degli avanzamenti e tecniche di controllo.

Il supporto del *personal computer*.

Aspetti economico-finanziari: bilancio e controllo delle commesse; forme di finanziamento e di pagamento.

Principi di contrattualistica; raggruppamenti di imprese; tipi di contratti e relativa gestione.

Rischi e coperture assicurative.

Modalità di assegnazione e di gestione delle opere pubbliche.

Certificazione, garanzia di qualità, qualità totale.

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni prevedono l'applicazione pratica delle metodologie e delle tecniche esaminate nelle lezioni, e consistono nell'analisi di casi applicativi relativi alla progettazione ed alla realizzazione di impianti.

## H 2710 Impianti elettrici a media e bassa tensione

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 20 laboratori 10 (settimanali 6/2)

Prof. Giovanni Cantarella (Ing. elettrica industriale)

Il corso si propone di approfondire le conoscenze dello studente sui principali componenti degli impianti di distribuzione e di utilizzazione dell'energia elettrica, considerati nella loro costruzione, applicazione e funzionamento.

Esso è particolarmente consigliato ai futuri ingegneri che intendano operare in attività di progettazione di impianti elettrici di potenza o di progettazione, costruzione e verifica di componenti elettromeccanici di circuiti e impianti elettrici.

**REQUISITI.** Nozioni di base relative agli impianti elettrici, alla fisica tecnica e alle macchine elettriche.

### PROGRAMMA

Principali componenti degli impianti di distribuzione e di utilizzazione dell'energia elettrica.

Apparecchi di manovra e di protezione degli impianti elettrici industriali e residenziali.

Sovracorrenti: sovraccarico e cortocircuito.

Sollecitazioni dei componenti elettrici in condizioni ordinarie e di sovracorrente: limiti di temperatura. Sollecitazioni in condizioni di cortocircuito:  $I^2t$  o "integrale di Joule".

Riscaldamento dei componenti con carico intermittente.

Forze elettrodinamiche tra conduttori complanari comunque disposti, con particolare riferimento ai quadri elettrici.

L'arco elettrico nei dispositivi di interruzione di corrente: regime statico e dinamico. Estinzione dell'arco.

Interruzione di corrente continua in circuiti induttivi. Interruttori "extrarapidi". Interruzione di piccole correnti induttive, di correnti capacitive, in discordanza di fase, di guasto in linea. Interruttori automatici in olio, aria, aria compressa, esafluoruro di zolfo, magnetici, nel vuoto. Fusibili.

Apparecchi di manovra, sezionatori, contattori e avviatori.

Potere di interruzione nominale estremo e di servizio. Selettività tra interruttori automatici (*override*), tra fusibili e tra interruttori e fusibili.

Protezione dei cavi contro sovraccarico e corto circuito. Protezione degli apparecchi di manovra contro sovracorrente.

Apparecchi limitatori di corrente.

Sovratensioni di manovra e impulsive. Scaricatori.

### ESERCITAZIONI.

Il corso comprende esercitazioni di calcolo relative agli argomenti trattati nelle lezioni ed esercitazioni pratiche svolte nel laboratorio di cortocircuito dell'IEN "Galileo Ferraris".

**BIBLIOGRAFIA.** Appunti dalle lezioni sono messi a disposizione degli studenti.

## H 2800 Impianti speciali idraulici

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 40

Prof. Enzo Buffa [idraulica],

Prof. Paolo Mosca [impiantistica] (Idraulica, trasporti e infrastr. civili)

Il corso intende dare agli ingegneri elettrici impiantisti le necessarie informazioni riguardanti l'idraulica di base e la costruzione ed il funzionamento dei sistemi di generazione idroelettrici.

È suddiviso in due parti, la prima con argomenti di idraulica generale propedeutici alla seconda parte, che comprende tipologie e metodi di calcolo e progettazione della parte idraulica degli impianti idroelettrici.

### PROGRAMMA

#### *Prima parte.*

Idraulica generale, idrostatica e dinamica dei fluidi perfetti, dinamica dei fluidi reali, condotte in pressione, canali, colpo d'ariete, equazioni di base delle macchine idrauliche (Eulero).

#### *Seconda parte.*

Idrologia, tipologia impiantistica, cenni su dighe e traverse, condotte forzate, pozzi piezometrici, camere valvole, centrali.

## H 2820 Impianti termotecnici

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 30 (settimanali 4/2)

Prof. Marco Masoero (Energistica)

Il corso, di taglio fortemente applicativo, è destinato alla formazione di figure professionali quali il progettista di impianti, il responsabile del settore impianti, ambiente, o *energy manager* nell'industria, il funzionario di ente pubblico preposto ai settori dell'energia e dell'ambiente.

Elemento didattico fondamentale è lo sviluppo di alcune esercitazioni progettuali, attorno alle quali è costruito il programma del corso.

**REQUISITI.** Insegnamento propedeutico fondamentale il corso di *Fisica tecnica*.

### PROGRAMMA

1. Classificazione e descrizione degli impianti termotecnici per applicazioni civili ed industriali. Richiami di termodinamica, trasmissione del calore e moto dei fluidi.
2. I componenti fondamentali degli impianti (scambiatori di calore, generatori di calore, gruppi frigoriferi e pompe di calore, reti per la distribuzione dei fluidi, ecc.): descrizione costruttiva e modelli matematici.
3. Sviluppo progettuale di impianti: dati di progetto, metodi di dimensionamento e verifica di tipo manuale e informatizzato, riferimenti normativi e per la progettazione, aspetti economici; costruzione, conduzione e manutenzione degli impianti termotecnici.

4. L'uso ottimale dell'energia in campo impiantistico: tecnologie per il risparmio energetico e per l'uso di fonti rinnovabili; aspetti economici e tariffari; la legislazione vigente in materia.
5. L'impatto ambientale degli impianti: il concetto di Valutazione di Impatto Ambientale e le implicazioni in campo impiantistico; l'impatto sulle componenti "atmosfera" e "rumore"; riferimenti normativi.

### ESERCITAZIONI

1. Progetto della centrale termica di un complesso industriale: analisi delle prestazioni dei generatori di calore, dimensionamento dei camini, schemi funzionali, apparecchiature di sicurezza e disposizioni antincendio.
2. Progetto dell'impianto di condizionamento dell'aria di un edificio per uffici: calcolo dei carichi termici estivi ed invernali, scelta delle tipologie di impianto e dimensionamento dei componenti fondamentali, schemi funzionali, progetto delle reti di distribuzione dei fluidi termovettori (aria ed acqua).
3. Analisi energetico-economica di un impianto di cogenerazione (produzione combinata di energia termica ed elettrica) per un complesso ospedaliero.

## H 3000 Intelligenza artificiale

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 2

Prof. Elio Piccolo (Automatica e informatica)

Il corso si propone di illustrare le problematiche relative connesse all'intelligenza artificiale e le relative metodologie. I temi fondamentali riguardano i modelli base del comportamento intelligente, la costruzione di macchine che li simulino, la rappresentazione della conoscenza, i limiti per cui l'intelligenza è descritta dalla valutazione di regole, dall'inferenza, dalla deduzione e dal computo di *pattern*. Si prenderanno in esame le architetture dei sistemi di apprendimento e come essi rappresentano la loro conoscenza del mondo esterno. Il corso è integrato da esercitazioni pratiche durante le quali lo studente si impratichirà nell'uso di linguaggi non-algoritmici, quali LISP, Prolog ed OPS5, di *shell* di sistemi esperti e di altri strumenti di intelligenza artificiale.

### PROGRAMMA

Strategie per la risoluzione di problemi:

- soluzioni nello spazio degli stati
- soluzione per decomposizione in sotto-problemi
- ricerca in ampiezza, profondità e mediante euristica

Logica: monotona, non monotona, *fuzzy*

- la logica proposizionale
- la logica del primo ordine
- la logica di ordine superiore
- le logiche modali e temporali
- procedure di decisione
- *fuzzy logic*

Rappresentazione della conoscenza:

- le reti semantiche
- le regole di produzione



- i *frame*
- gli approcci ibridi
- confronti in termini di espressività, potere deduttivo, applicabilità
- modelli di ragionamento e di apprendimento: incertezza, inferenza bayesiana, *belief*
- architetture che imitano i sistemi biologici: reti neurali, connessionismo, memoria distribuita sparsa.

Sistemi basati sulla conoscenza:

- i sistemi esperti: problematiche e classificazioni, con particolare riguardo alle applicazioni degli stessi in ambiti tecnico-ingegneristici: apprendimento automatico; interfaccia utente nell'ambito dei sistemi basati sulla conoscenza: modelli sintattici e semantici per la comprensione del linguaggio naturale, traduzione automatica
- cenni di robotica: cinematica e dinamica del moto dei robot e modelli del mondo esterno per i robot

Linguaggi non-procedurali:

- i linguaggi funzionali, con particolare attenzione al LISP
- i linguaggi logici, con particolare attenzione al Prolog

Riconoscimento e comprensione:

- tecniche di riconoscimento di configurazioni (*template matching*, approccio statistico e sintattico)
- il riconoscimento delle immagini
- il riconoscimento del parlato.

## ESERCITAZIONI E LABORATORI

Esecuzione di progetti di varia natura, tramite le metodologie presentate a lezione, legati ad applicazioni tecnico-ingegneristiche: tecniche per la valutazione di regole; tecniche facenti uso di sistemi esperti in domini ristretti e *shell* di sistemi esperti; sistemi di riconoscimento del linguaggio; reti neuroniche; giochi intelligenti; riconoscitori di immagini o di parlato.

## **H 3460      Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo**

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 24 (settimanali 6/2)

Prof. Giovanni Fiorio (Automatica e informatica)

L'insegnamento è rivolto in generale a tutti gli allievi che desiderano approfondire la loro conoscenza in problemi di ottimizzazione di sistemi dinamici. La trattazione viene svolta per sistemi dinamici a tempo sia discreto, sia continuo. Il problema del controllo ottimo viene esteso ai sistemi a grandi dimensioni per i quali è conveniente operare un controllo decentralizzato e gerarchicamente coordinato, con applicazione ai sistemi di produzione e a rete in generale.

### **PROGRAMMA.**

1. I problemi di ottimizzazione nell'ambito della professione dell'ingegnere. Metodi di ottimizzazione nell'ingegneria del controllo e della pianificazione.
2. Ottimizzazione in spazi euclidei. Ottimizzazione senza vincoli, e con vincoli di uguaglianza e di disuguaglianza. Applicazione a sistemi di controllo in regime stazionario con indici di costo e con vincoli di vario tipo.
3. Il controllo ottimo in catena aperta per sistemi dinamici retti da equazioni di stato di forma generica e con indici di costo pure di forma generica. Formulazione del problema nella versione a tempo sia discreto, sia continuo. Il principio del massimo. Applicazioni a sistemi dinamici con indici di costo quadratico.
4. La programmazione dinamica. Introduzione tramite problemi di percorso. Suoi legami con il principio del massimo. Applicazioni a problemi di controllo.
5. Il controllo in catena chiusa per sistemi lineari in regime dinamico con indici di costo quadratico. L'equazione differenziale matriciale di Riccati e sua versione algebrica. Applicazioni a specifici casi concreti.
6. Il controllo ottimo di sistemi a grandi dimensioni. Criteri di decomposizione e di coordinamento. Applicazione ai sistemi di produzione.

**BIBLIOGRAFIA.** Sono a disposizione appunti del corso scritti dal docente, che indicano anche riferimenti bibliografici.

## **H 3640      Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici**

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 30 (settimanali 4/2)

Prof. Ernesto Arri (Automatica e informatica)

Il corso si propone di affrontare il problema delle misure per la caratterizzazione e il collaudo di macchine elettriche e di componenti di impianti, sia secondo le moderne tendenze di verifica automatizzata dell'intera catena produttiva, sia nel contesto attuale della normativa e della certificazione dei prodotti per garantirne la qualità, la sicurezza e l'affidabilità.

### **PROGRAMMA.**

Garanzia di qualità dei prodotti e dei servizi. Affidabilità di un prodotto. Organismi metrologici, normativi e di certificazione internazionali, europei, comunitari e nazionali.

Normativa attuale sulle macchine elettriche e sui componenti di impianti.

Normativa moderna sulla valutazione delle incertezze di misura.

Misurazioni di grandezze elettriche: tensioni, correnti, resistenze, reattanze, potenze elettriche. Metodi e strumenti.

Misurazioni di grandezze non elettriche: temperature, pressioni, umidità, spostamenti, angoli, velocità, accelerazioni, forze, coppie, potenze meccaniche. Metodi e strumenti. Trasduttori. Sensori: vari tipi. Attuatori. Freni.

Moderni sistemi elettronici integrati programmabili per misurazioni e collaudi automatici. Strumenti numerali e "intelligenti". Dispositivi per acquisizione e distribuzione automatica di dati.

Metodi per la realizzazione del carico. Carico: reale, equivalente, ridotto, reattivo.

Prove: di sovrariscaldamento, equivalenti, di durata ridotta. Transitori termici.

Misurazioni di isolamento e di rigidità dielettrica. Prove con tensione: aumentata a frequenza industriale, ad impulso.

Rilievo delle caratteristiche di funzionamento: a vuoto, in corto circuito, di carico, di regolazione, esterna, termica, elettromeccanica, meccanica.

Determinazione delle perdite: magnetiche, elettriche, addizionali. Loro separazione.

Determinazione del rendimento con metodo: diretto, semidiretto, indiretto, a ricupero e circolazione di energia.

Applicazioni ai trasformatori e autotrasformatori.

Applicazioni alle macchine asincrone.

Applicazioni alle macchine sincrone. Determinazione delle reattanze (sincrone, diretta e in quadratura, e relative costanti di tempo, transitoria, non transitoria) alle diverse frequenze.

Applicazioni alle macchine a cc.

Applicazioni a componenti di impianti: cavi e linee aeree, interruttori, fusibili, relè, dispersori di terra. Esame della legge 46/90.

**ESERCITAZIONI.** Esemplicazioni pratiche e applicazioni di tipo numerico e grafico degli argomenti trattati.

**LABORATORI.** Determinazione delle caratteristiche e del rendimento con metodo diretto e indiretto di: trasformatore, motori asincroni, alternatore.

## H 4980 Sistemi elettrici per l'energia

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 24 laboratori 24 (settimanali 6/2/2)

Prof. Enrico Carpaneto (Ing. elettrica industriale)

Il corso ha lo scopo di fornire agli allievi gli strumenti per l'analisi dei fenomeni dinamici e del funzionamento in regime permanente non-sinusoidale dei sistemi elettrici, con particolare attenzione alle applicazioni di interesse pratico e ai relativi problemi progettuali.

### PROGRAMMA.

Introduzione allo studio della dinamica dei sistemi elettrici per l'energia: classificazione dei fenomeni dinamici, modelli, approssimazioni e tecniche di soluzione.

Modelli dinamici dei componenti. Comportamento in corto-circuito di motori e generatori.

Transitori elettromeccanici. Modelli semplificati e metodi di soluzione numerica. Stabilità per piccole e grandi perturbazioni. Provvedimenti per migliorare la stabilità.

Regolazione della frequenza. Modelli per la dinamica di lungo-termine.

Problematiche applicative: guasti e protezioni, autoproduzione industriale.

Sovratensioni. Transitori elettromagnetici. Fenomeni di propagazione nelle linee.

Modelli ad alta frequenza dei componenti. Protezione contro le sovratensioni.

Sviluppo in serie di Fourier (DFT, FFT). Potenze in regime non-sinusoidale.

Caratteristiche dei principali carichi non lineari (convertitori AC/DC monofasi e trifasi) e interazioni con la rete di alimentazione. Effetti delle armoniche. Modelli per lo studio della propagazione delle armoniche. Problemi pratici e relativi provvedimenti correttivi: rifasamento, risonanze, filtri.

Strumentazione e misure. Normativa.

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni nel laboratorio informatico consisteranno nello sviluppo, da parte degli allievi, di programmi per lo studio di sistemi semplici e nell'impiego di programmi, già sviluppati, per la simulazione nel dominio del tempo (transitori elettromagnetici ed elettromeccanici) e per l'analisi nel dominio della frequenza (propagazione delle armoniche).

### BIBLIOGRAFIA

Illiceto, *Impianti elettrici*, Pàtron.

Marconato, *Sistemi elettrici di potenza*, CLUP.

Arrillaga, Bradley, Bodger, *Power system harmonics*, Wiley.

## H 5175 Statistica aziendale + Marketing industriale

(Corso integrato)

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 56 (settimanali 4/4)

*Docente da nominare* (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienda)

Il corso integrato, dopo aver trattato dei metodi quantitativi impiegati negli studi di mercato, analizza le tecniche della comunicazione d'impresa, da quelle più tradizionali (pubblicità, promozioni, relazioni pubbliche) a quelle innovative, sviluppando e discutendo alcune applicazioni significative.

### PROGRAMMA.

Lo strumento statistico: il metodo del campione.

Le tecniche per la individuazione delle strutture dei gruppi.

La diffusione dei messaggi.

Tecniche tradizionali per la comunicazione d'impresa.

Tecniche innovative: sponsorizzazioni, comunicazione interattive, comunicazione collettiva.

La comunicazione integrata.

Il *marketing* strategico nei servizi.

Le indagini al servizio della comunicazione d'impresa.

Casi di studio: analisi di alcune campagne pubblicitarie.

## H 6000 Termotecnica

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 55 laboratori 5 (settimanali 4/4)

Prof. Antonio Maria Barbero (Energetica)

Temi generali trattati: caratteristiche funzionali e costruttive dei principali generatori di calore; perdite di energia; rendimenti; calcolo termico dei generatori di calore; previsione di funzionamento su modello matematico; recuperatori di calore.

Il corso si svolgerà con lezioni, esercitazioni monografiche e di calcolo, laboratorio, visite a centrali e/o stabilimenti.

**REQUISITI.** *Fisica tecnica, Chimica, Macchine.*

### PROGRAMMA

Descrizione dei principali tipi di generatore di calore: generatori di vapore e loro ausiliari (in particolare pompe di alimentazione, di circolazione, di estrazione del condensatore), generatori di acqua calda, generatori di acqua surriscaldata, generatori di fluidi diatermici caldi, generatori di aria calda, forni, inceneritori.

Caratterizzazione termica delle parti dei generatori di calore. Caratteristiche delle fiamme (cenni).

Caratteristiche fisico-chimiche dei combustibili. Caratteristiche fisico-chimiche dei prodotti della combustione. Reazioni di combustione (metodi particolari di calcolo).

Metodi di calcolo dei rendimenti. Metodi di calcolo delle perdite di energia. Influenza delle varie perdite sul rendimento ai vari regimi termici.

Richiami di trasmissione del calore applicati ai generatori di calore. Emissione di energia radiante da fiamme.

Dimensionamento termico delle camere di combustione. Dimensionamento termico degli scambiatori a valle della camera di combustione.

Verifiche del calcolo termico dei generatori di calore. Metodi semi-empirici di calcolo di progettazione termica. Previsioni di funzionamento con il metodo del reattore ben mescolato. Cenni a modelli matematici a una o più dimensioni.

Recuperatori di calore: calcolo e descrizione.

Cenni a generatori di calore non a combustione.

Cenni a impianti di cogenerazione di energia termica e meccanica.

## ESERCITAZIONI

Esercitazioni di calcolo e inoltre esercitazioni monografiche su: strumentazione di misura per generatori di calore; problemi di corrosione; legislazione e inquinamento; approfondimento di aspetti particolarmente interessanti di alcuni generatori; valutazione economica degli interventi di risparmio energetico (VAN, IRR).

LABORATORI. Visita al Laboratorio di prove sulla combustione. Visite a stabilimenti del settore (costruzione bruciatori, caldaie, pannelli solari) e a generatori di vapore.

## Indice alfabetico degli insegnamenti

| <i>pag.</i> | <i>corso</i> | <i>[anno:periodo]</i>                                                               |
|-------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 41          | H0190        | Analisi dei sistemi [5:1]                                                           |
| 13          | H0231        | Analisi matematica 1 [1:1]                                                          |
| 18          | H0232        | Analisi matematica 2 [2:1]                                                          |
| 25          | H0234        | Analisi matematica 3 (corso ridotto, 1/2 annualità) [3:1]                           |
| 41          | H0290        | Applicazioni industriali elettriche [5:1]                                           |
| 32          | H0350        | Automazione a fluido [4:1]                                                          |
| 60          | H0380        | Azionamenti elettrici [5:2]                                                         |
| 61          | H0391        | Azionamenti elettrici per l'automazione (applicativo) [5:2]                         |
| 42          | H0392        | Azionamenti elettrici per l'automazione (teorico) [5:1]                             |
| 43          | H0400        | Azionamenti per trazione elettrica [5:1]                                            |
| 62          | H0450        | Biomeccanica [5:2]                                                                  |
| 20          | H0510        | Calcolo numerico [2:2]                                                              |
| 14          | H0620        | Chimica [1:1]                                                                       |
| 33          | H0840        | Controlli automatici [4:1]                                                          |
| 44          | H0850        | Controllo dei processi [5:1]                                                        |
| 62          | H0870        | Controllo digitale [5:2]                                                            |
| 45          | H1060        | Costruzioni elettromeccaniche [5:1]                                                 |
| 63          | H1360        | Disciplina giuridica delle attività tecnico-ingegneristiche [5:2]                   |
| 36          | H1385        | Disegno assistito dal calcolatore + Costruzione di macchine (corso integrato) [4:2] |
| 18          | H1530        | Economia ed organizzazione aziendale [2:1]                                          |
| 64          | H1570        | Elaborazione di dati e segnali biomedici [5:2]                                      |
| 29          | H1710        | Elettronica applicata [3:2]                                                         |
| 46          | H1770        | Elettronica industriale di potenza [5:1]                                            |
| 20          | H1791        | Elettrotecnica 1 [2:2]                                                              |
| 30          | H1792        | Elettrotecnica 2 [3:2]                                                              |
| 37          | H1830        | Energetica e sistemi nucleari [4:2]                                                 |
| 15          | H1901        | Fisica 1 [1:2]                                                                      |
| 19          | H1902        | Fisica 2 [2:1]                                                                      |
| 22          | H2060        | Fisica tecnica [2:2]                                                                |

- 16 H2170 Fondamenti di informatica [1:2]  
17 H2300 Geometria [1:2]  
65 M2370 Gestione dei progetti di impianto [5:2]  
38 H2701 Impianti elettrici 1 [4:2]  
47 H2702 Impianti elettrici 2 [5:1]  
66 H2710 Impianti elettrici a media e bassa tensione [5:2]  
67 H2800 Impianti speciali idraulici [5:2]  
67 H2820 Impianti termotecnici [5:2]  
68 H3000 Intelligenza artificiale [5:2]  
48 H3090 Localizzazione dei sistemi energetici [5:1]  
34 H3130 Macchine elettriche [4:1]  
39 H3110 Macchine [4:2]  
26 H3204 Meccanica analitica (corso ridotto, 1/2 annualità) [3:1]  
31 H3210 Meccanica applicata alle macchine [3:2]  
49 H3280 Meccanica dei robot [5:1]  
70 H3460 Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo [5:2]  
50 H3500 Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici [5:1]  
71 H3640 Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici [5:2]  
40 H3660 Misure elettriche [4:2]  
51 H3690 Misure per l'automazione e la produzione industriale [5:1]  
52 H3770 Modelli per l'organizzazione e la gestione dei sistemi [5:1]  
53 H3780 Modellistica di sistemi elettromeccanici [5:1]  
54 H3800 Modellistica e identificazione [5:1]  
55 H3850 Oleodinamica e pneumatica [5:1]  
56 H4550 Ricerca operativa [5:1]  
26 H4600 Scienza delle costruzioni [3:1]  
28 H4660 Scienza e tecnologia dei materiali elettrici [3:1]  
57 H4700 Sensori e trasduttori [5:1]  
23 H4880 Sistemi di elaborazione [2:2]  
72 H4980 Sistemi elettrici per l'energia [5:2]  
73 H5175 Statistica aziendale + Marketing industriale (corso integrato) [5:2]  
58 H5450 Tecnica della sicurezza elettrica [5:1]  
59 H5640 Tecnologia meccanica [5:1]  
73 H6000 Termotecnica [5:2]



## Indice alfabetico dei docenti

| <i>pag.</i> | <i>Docente</i>                                 | <i>corso</i> | <i>[anno:periodo]</i>                                      |
|-------------|------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------|
| 40          | Abete, Andrea (Ing. elettrica)                 | H3660        | Misure elettriche [4:2]                                    |
| 14          | Angelini, Emma (Chimica)                       | H0620        | Chimica [1:1]                                              |
| 71          | Arri, Ernesto (Autom. inform.)                 | H3640        | Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici [5:2]   |
| 13          | Ascoli, Renato (Matematica)                    | H0231        | Analisi matematica 1 [1:1]                                 |
| 26          | Ballatore, Enrico (Ing. strutturale)           | H4600        | Scienza delle costruzioni [3:1]                            |
| 73          | Barbero, Antonio Maria (Energetica)            | H6000        | Termotecnica [5:2]                                         |
| 32          | Belforte, Guido (Meccanica)                    | H0350        | Automazione a fluido [4:1]                                 |
| 31          | =                                              | H3210        | Meccanica applicata alle macchine [3:2]                    |
| 67          | Buffa, Enzo (Idraul., traspr., infrastr. civ.) | H2800        | Impianti speciali idraulici [5:2]                          |
| 17          | Caire, Luisella (Matematica)                   | H2300        | Geometria [1:2]                                            |
| 22          | Calì, Michele (Energetica)                     | H2060        | Fisica tecnica [2:2]                                       |
| 39          | Campanaro, Paolo (Energetica)                  | H3110        | Macchine [4:2]                                             |
| 66          | Cantarella, Giovanni (Ing. elettrica)          | H2710        | Impianti elettrici a media e bassa tensione [5:2]          |
| 44          | Carlucci, Donato (Autom. inform.)              | H0850        | Controllo dei processi [5:1]                               |
| 72          | Carpaneto, Enrico (Ing. elettrica)             | H4980        | Sistemi elettrici per l'energia [5:2]                      |
| 58          | Carrescia, Vito (Ing. elettrica)               | H5450        | Tecnica della sicurezza elettrica [5:1]                    |
| 20          | Civalleri, Pier Paolo (Elettronica)            | H1791        | Elettrotecnica 1 [2:2]                                     |
| 57          | De Marchi, Andrea (Elettronica)                | H4700        | Sensori e trasduttori [5:1]                                |
| 16          | Demichelis, Piero (Autom. inform.)             | H2170        | Fondamenti di informatica [1:2]                            |
| 42          | Donati, Francesco (Autom. inform.)             | H0392        | Azionamenti elettrici per l'automazione (teorico) [5:1]    |
| 51          | Ferraris, Franco (Elettronica)                 | H3690        | Misure per l'automazione e la produzione industriale [5:1] |
| 34          | Ferraris, Paolo (Ing. elettrica)               | H3130        | Macchine elettriche [4:1]                                  |
| 33          | Fiorio, Giovanni (Autom. inform.)              | H0840        | Controlli automatici [4:1]                                 |
| 70          | =                                              | H3460        | Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo [5:2]    |
| 37          | Lavagno, Evasio (Energetica)                   | H1830        | Energetica e sistemi nucleari [4:2]                        |
| 48          | =                                              | H3090        | Localizzazione dei sistemi energetici [5:1]                |
| 53          | Lazzari, Mario (Ing. elettrica)                | H3780        | Modellistica di sistemi elettromeccanici [5:1]             |

|    |                                                      |       |                                                                             |
|----|------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 67 | Masoero, Marco (Energetica)                          | H2820 | Impianti termotecnici [5:2]                                                 |
| 54 | Mauro, Vito (Autom. inform.)                         | H3800 | Modellistica e identificazione [5:1]                                        |
| 28 | Mazza, Daniele (Chimica)                             | H4660 | Scienza e tecnologia dei materiali elettrici [3:1]                          |
| 65 | Monte, Armando (Idraul., traspr.,<br>infrastr. civ.) | M2370 | Gestione dei progetti di impianto [5:2]                                     |
| 23 | Montessoro, Pier Luca (Autom.<br>inform.)            | H4880 | Sistemi di elaborazione [2:2]                                               |
| 20 | Moroni, Paola (Matematica)                           | H0510 | Calcolo numerico [2:2]                                                      |
| 67 | Mosca, Paolo (Idraul., traspr., infrastr.<br>civ.)   | H2800 | Impianti speciali idraulici [5:2]                                           |
| 41 | Muratori, Simona (Autom. inform.)                    | H0190 | Analisi dei sistemi [5:1]                                                   |
| 29 | Mussino, Franco (Elettronica)                        | H1710 | Elettronica applicata [3:2]                                                 |
| 47 | Napoli, Roberto (Ing. elettrica)                     | H2702 | Impianti elettrici 2 [5:1]                                                  |
| 55 | Nervegna, Nicola (Energetica)                        | H3850 | Oleodinamica e pneumatica [5:1]                                             |
| 52 | Norese, Maria Franca (Sist.<br>produzione)           | H3770 | Modelli per l'organizzazione e la gestione dei<br>sistemi [5:1]             |
| 63 | Orusa, Luciano (Sist. edilizi)                       | H1360 | Disciplina giuridica delle attività tecnico-<br>ingegneristiche [5:2]       |
| 43 | Pessina, Gaetano (Ing. elettrica)                    | H0400 | Azionamenti per trazione elettrica [5:1]                                    |
| 26 | Piazzese, Franco (Matematica)                        | H3204 | Meccanica analitica (1/2) [3:1]                                             |
| 68 | Piccolo, Elio (Autom. inform.)                       | H3000 | Intelligenza artificiale [5:2]                                              |
| 36 | Podda, Giovanni (Sist. produzione)                   | H1385 | Disegno assistito dal calcolatore + Costruzione di<br>macchine (int.) [4:2] |
| 38 | Pomè, Roberto (Ing. elettrica)                       | H2701 | Impianti elettrici 1 [4:2]                                                  |
| 60 | Profumo, Francesco (Ing. elettrica)                  | H0380 | Azionamenti elettrici [5:2]                                                 |
| 36 | Roccati, Giovanni (Meccanica)                        | H1385 | Disegno assistito dal calcolatore + Costruzione di<br>macchine (int.) [4:2] |
| 49 | Romiti, Ario (Meccanica)                             | H3280 | Meccanica dei robot [5:1]                                                   |
| 62 | Rossetto, Massimo (Meccanica)                        | H0450 | Biomeccanica [5:2]                                                          |
| 59 | Spirito, Francesco (Sist. produzione)                | H5640 | Tecnologia meccanica [5:1]                                                  |
| 15 | Strigazzi, Alfredo (Fisica)                          | H1901 | Fisica 1 [1:2]                                                              |
| 56 | Tadei, Roberto (Autom. inform.)                      | H4550 | Ricerca operativa [5:1]                                                     |
| 19 | Tartaglia, Angelo (Fisica)                           | H1902 | Fisica 2 [2:1]                                                              |
| 30 | Tartaglia, Michele (Ing. elettrica)                  | H1792 | Elettrotecnica 2 [3:2]                                                      |
| 25 | Teppati, Giancarlo (Matematica)                      | H0234 | Analisi matematica 3 (1/2) [3:1]                                            |
| 41 | Tosoni, Marialuisa (Ing. elettrica)                  | H0290 | Applicazioni industriali elettriche [5:1]                                   |
| 61 | Vagati, Alfredo (Ing. elettrica)                     | H0391 | Azionamenti elettrici per l'automazione<br>(applicativo) [5:2]              |
| 62 | Vallauri, Maurizio (Autom. inform.)                  | H0870 | Controllo digitale [5:2]                                                    |

50 Vicario, Grazia (Matematica)

H3500 Metodi probabilistici, statistici e processi  
stocastici [5:1]

46 Villata, Franco (Ing. elettrica)

H1770 Elettronica industriale di potenza [5:1]

45 Zimaglia, Carlo (Ing. elettrica)

H1060 Costruzioni elettromeccaniche [5:1]