

**Guide ai programmi
dei corsi 1995/96**



POLITECNICO DI TORINO

Ingegneria elettrica

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

I Facoltà di ingegneria

Preside: prof. Pietro Appendino

Corso di laurea

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

Presidente (coordinatore)

Prof. Gianfranco Chiocchia
Prof. Antonio Di Molfetta
Prof. Vito Specchia
Prof. Giovanni Barla
 Prof. Giovanni Barla
 Prof. Secondino Coppo
Prof. Roberto Napoli
Prof. Agostino Villa
Prof. Paolo Prinetto
 Prof. Mario Pent
 Prof. Carlo Naldi
 Prof. Paolo Prinetto
Prof. Carlo Gianoglio
Prof. Rosolino Ippolito
Prof. Evasio Lavagno

II Facoltà di ingegneria (sede di Vercelli)

Preside: prof. Antonio Gugliotta

Corso di laurea

Ingegneria civile
Ingegneria elettronica
Ingegneria meccanica

Coordinatore

Prof. Riccardo Nelva
Prof. Luigi Ciminiera
Prof. Maurizio Orlando

L'edizione 1995/96 delle *Guide ai programmi*. Per esplicita richiesta del *Comitato partitico per la didattica*, questa edizione si basa su una pressoché completa riscrittura dei testi da parte dei docenti, nell'intento di dare maggiori dettagli sui contenuti e lo svolgimento dei singoli insegnamenti. L'insieme delle *Guide* assomma ora ad oltre 2000 pagine, costituendo una ricca fonte d'informazione sull'offerta didattica; nonostante la massima cura posta nell'edizione, inevitabili sono sviste ed errori residui, ed il CIDEM è fin d'ora grato a docenti e studenti che vorranno segnalarli.

Edito a cura del CIDEM

Centro Interdipartimentale di Documentazione e Museo del
Politecnico di Torino

Corso Duca degli Abruzzi 24 – 10129 Torino

Tel. 011.564'6601 – Fax 011.564'6609 – e-mail cid@polito.it

Stampato nel mese di novembre 1995

Litografia Geda – Via Villa Glori 6 – Torino

Indice

5	Presentazione
	Programmi degli insegnamenti
13	obbligatori (comuni e d'indirizzo)
63	d'orientamento
117	Tavola alfabetica dei docenti
124	Tavola alfabetica degli insegnamenti

Le Guide ai programmi dei 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 1995/96 sono attivati a Torino tredici *corsi di laurea* (elenco alla pagina a fronte). 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 didattico¹ 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 40–60 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.

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.

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

Un'altra novità introdotta dal DPR 20 maggio 1989² 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*³ 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 del Servizio 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 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").

L'edizione 1995/96 delle *Guide ai programmi*. Per esplicita richiesta del *Comitato paritetico per la didattica*, questa edizione si basa su una pressoché completa riscrittura dei testi da parte dei docenti, nell'intento di dare maggiori dettagli sui contenuti e lo svolgimento dei singoli insegnamenti. L'insieme delle *Guide* assomma ora ad oltre 2000 pagine, costituendo una ricca fonte d'informazione sull'offerta didattica; nonostante la massima cura posta nell'edizione, inevitabili sono sviste ed errori residui, ed il CIDEM è fin d'ora grato a docenti e studenti che vorranno segnalarli.

² Pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 186 del 1989-08-10.

³ Questi *gruppi* coincidono con quelli dei raggruppamenti concorsuali per i professori universitari.

Corso di laurea in

Ingegneria elettrica

Profilo professionale

La figura dell'ingegnere elettrico è una delle figure professionali più richieste nel mondo industriale e dei servizi, e ciò sia per l'ovvia importanza del servizio elettrico in tutte le attività, sia per la forte caratterizzazione interdisciplinare, con competenze di base nei settori dell'elettronica, dell'informatica, della meccanica, della termotecnica e dell'ingegneria strutturale.

Il corso di laurea in *Ingegneria elettrica* è strutturato in modo da offrire un efficiente equilibrio fra competenze di carattere generale (garanzia di flessibilità e di adattabilità alle evoluzioni del mercato del lavoro) e competenze specialistiche su problematiche avanzate.

L'area culturale, particolarmente ampia e variegata, comprende fra l'altro:

- i sistemi di produzione e trasmissione dell'energia elettrica;
- i sistemi di distribuzione dell'energia elettrica, sia pubblici che privati;
- le apparecchiature industriali elettriche ed elettroniche di potenza;
- l'energetica elettrica, intesa come complesso di metodologie per l'ottimizzazione della gestione e dell'uso dell'energia elettrica;
- i sistemi per lo sfruttamento dell'energia rinnovabile, con particolare riguardo alla tecnologia dei sistemi eolici e solari;
- gli azionamenti per uso industriale, per la robotica e per la trazione elettrica;
- i sistemi elettrici per l'automazione, per il traffico e per i servizi a bordo di unità mobili;
- le utilizzazioni elettriche in contesti particolarmente innovativi (edifici intelligenti, domotronica, etc.).

Tutto ciò riguarda sia le tecnologie tradizionali, ampiamente consolidate, sia le nuove tecnologie informatiche, elettroniche e digitali, che stanno impetuosamente rivoluzionando l'intero mondo elettrico.

Sono alla base della rivoluzione tecnologica in atto:

- i nuovi materiali;
- i nuovi componenti dell'elettronica industriale di potenza;
- lo sviluppo delle tecniche di controllo digitale;
- le enormi possibilità offerte dalle tecniche informatiche;
- l'importanza che la società civile attribuisce ai problemi dell'uso delle risorse energetiche, con le accentuate esigenze di risparmio, affidabilità, compatibilità ambientale e sicurezza.

In termini sintetici, l'ingegneria elettrica comprende lo studio e la realizzazione di tutti i sistemi e componenti che in qualche modo utilizzano l'energia elettrica, sia in forma esclusiva, sia con conversione da o verso altre forme di energia, ma sempre in quantità significative (a differenza dell'ingegneria elettronica, che utilizza il vettore elettrico per elaborare e/o trasmettere dati e segnali).

Gli sbocchi professionali dell'ingegneria elettrica, tradizionalmente molto ampi, sono una conseguenza diretta del ruolo centrale dell'elettricità in tutti gli ambiti industriali, commerciali e, più in generale, per la qualità della vita organizzata. Tali sbocchi sono stati di recente ulteriormente accresciuti dall'evoluzione legislativa che, estendendo radicalmente l'obbligo della progettazione e della certificazione elettrica, ha di fatto aperto ai neo-ingegneri nuove interessanti opportunità.

Insegnamenti obbligatori

Il corso di laurea prevede diverse opzioni per ciascuno dei due indirizzi Automazione industriale ed Energia. Per ciascun indirizzo, i piani di studio programmati prevedono 26 insegnamenti comuni (di cui tre caratterizzanti l'indirizzo) e 3 insegnamenti scelti dallo studente nell'ambito delle opzioni più avanti indicate.

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 1* 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.

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*, che fornisce le basi di progetto dei circuiti elettronici per il comando in potenza di apparecchiature elettromeccaniche.
- *Azionamenti elettrici per l'automazione*, che tratta gli azionamenti impiegati nel campo delle macchine utensili a controllo numerico e della robotica industriale. Vengono esaminati gli aspetti elettromeccanici, elettronici e controllistici, con particolare riferimento alle moderne soluzioni in corrente alternata.
- *Modellistica di sistemi elettromeccanici*, che fornisce le conoscenze teoriche per il funzionamento delle macchine elettriche in transitorio o in regimi di alimentazione non convenzionale.

L'indirizzo *Energia* presenta i corsi di:

- *Elettronica industriale di potenza*, che fornisce le basi di progetto dei circuiti elettronici per il comando in potenza di apparecchiature elettromeccaniche.
- *Impianti elettrici 2*, che tratta i concetti fondamentali per l'analisi e la gestione dei sistemi elettrici di produzione, di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica, con particolare riferimento alle problematiche statiche e progettuali.
- *Sistemi elettrici per l'energia*, in prosecuzione del corso di *Impianti elettrici 2*, che tratta il funzionamento transitorio e dinamico dei sistemi elettrici per l'energia.

Le tavole riassuntive che seguono indicano come si completi il corso di studi per i diversi orientamenti.

Quadro riassuntivo dei corsi obbligatori comuni

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 H1710 : Elettronica applicata H1792 : Elettrotecnica 2
4:1	H3130 : Macchine elettriche H3660 : Misure elettriche H0840 : Controlli automatici
4:2	H3110 : Macchine * H2701 : Impianti elettrici 1 H1435 : Disegno tecnico industriale + Costruzione di macchine (integrato) **
5:1	<i>Due corsi caratterizzanti l'indirizzo (v. tavole seguenti)</i> Y.1 <i>Corso d'orientamento</i> Y.2 <i>Corso d'orientamento</i>
5:2	<i>Un corso caratterizzante l'indirizzo (v. tavole seguenti)</i> Y.2 <i>Corso d'orientamento</i> Y.3 <i>Corso d'orientamento</i>

* Il corso H3110 può essere sostituito (per l'indirizzo *Automazione industriale*) da H0890, *Conversione statica dell'energia elettrica*.

** Il corso integrato H1435 può essere sostituito (per l'indirizzo *Energia*) da H2800, *Impianti speciali idraulici*.

Indirizzo Automazione industriale

- 5:1 H 1770 : Elettronica industriale di potenza
H 3780 : Modellistica dei sistemi elettromeccanici
Y.1 *Corso d'orientamento*
Y.2 *Corso d'orientamento*
-
- 5:2 H 0391 : Azionamenti elettrici per l'automazione
Y.2 *Corso d'orientamento*
Y.3 *Corso d'orientamento*
-

Orientamento Elettronica industriale

- 5:1 H 1760 : Elettronica di potenza *oppure*
H 5260 : Strumentazione e misure elettroniche
-
- 5:2 H 0290 : Applicazioni industriali elettriche
H 0890 : Conversione statica dell'energia elettrica
-

Orientamento Automazione industriale

- 5:1 H 0370 : Automazione industriale
H 5260 : Strumentazione e misure elettroniche
-
- 5:2 H 0870 : Controllo digitale
-

Orientamento Robotica

- 5:1 H 4580 : Robotica industriale
H 3280 : Meccanica dei robot
-
- 5:2 H 0290 : Applicazioni industriali elettriche
-

Orientamento Azionamenti

- 5.1 H0400 : Azionamenti per trazione elettrica
H1060 : Costruzioni elettromeccaniche *oppure H0290*
-
- 5.2 H0290 : Applicazioni industriali elettriche *oppure H1060*
H0890 : Conversione statica dell'energia elettrica
-

Orientamento tecnologico

- 5.1 H1060 : Costruzioni elettromeccaniche
H4700 : Sensori e trasduttori
-
- 5.2 H5640 : Tecnologia meccanica
-

Indirizzo **Energia**

- 5:1 H 1770 : Elettronica industriale di potenza
H 2702 : Impianti elettrici 2
 Y.1 *Corso d'orientamento*
 Y.2 *Corso d'orientamento*
-

- 5:2 H 4980 : Sistemi elettrici per l'energia
 Y.2 *Corso d'orientamento*
 Y.3 *Corso d'orientamento*
-

Orientamento impiantistico-professionale

- 5:1 H 5450 : Tecnica della sicurezza elettrica
-
- 5:2 H 2710 : Impianti elettrici a media e bassa tensione
H 2820 : Impianti termotecnici
-

Orientamento impiantistico-industriale

- 5:1 H 5450 : Tecnica della sicurezza elettrica
-
- 5:2 H 2710 : Impianti elettrici a media e bassa tensione
H 2720 : Impianti industriali
-

Orientamento impiantistico-energetico

- 5:1 H 3090 : Localizzazione dei sistemi energetici
-
- 5:2 H 1810 : Energetica
H 2800 : Impianti speciali idraulici
-

Orientamento sistemistico

5:1 H4550 : Ricerca operativa

5:2 H4880 : Sistemi di elaborazione
H3460 : Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo

Orientamento biomedico

5:1 H5450 : Tecnica della sicurezza elettrica
H5240 : Strumentazione biomedica

5:2 H0450 : Biomeccanica

Programmi degli insegnamenti

(insegnamenti comuni e d'indirizzo)

I programmi sono riportati nello stesso ordine (anno e periodo didattico) in cui compaiono nel quadro generale. A questa sezione seguono i programmi dei corsi d'orientamento (p. 63). Al termine del volume (p. 117) le tavole alfabetiche generali, per nomi dei docenti e per titoli degli insegnamenti.

H0231 **Analisi matematica 1**

Anno: periodo 1:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Luisella Caire

Il corso si propone di introdurre innanzitutto al linguaggio e al ragionamento matematico, fornendo, insieme alle basi dell'analisi delle funzioni reali di variabile reale (teoremi sulle funzioni continue e calcolo differenziale e integrale) una metodologia di lavoro che, partendo da una comprensione critica degli strumenti acquisiti, conduca, (attraverso riferimenti a problemi della fisica e dell'ingegneria) alla loro applicazione alle successive discipline tecnologiche.

REQUISITI. Sono richiesti i concetti fondamentali di algebra, di geometria elementare, di trigonometria e di calcolo dei logaritmi della scuola secondaria superiore.

PROGRAMMA

1. Introduzione al linguaggio matematico. Inquadramento insiemistico di relazioni e funzioni. Numeri cardinali. Principio di induzione. Concetti di calcolo combinatorio. Insiemi numerici, in particolare numeri reali. Proprietà qualitative delle funzioni reali di variabile reale. [12 ore]
2. Continuità in un punto e teoremi sulle funzioni continue; limiti e teoremi sui limiti; limiti di funzioni monotone. Confronto tra funzioni; infiniti e infinitesimi. Asintoti rettilinei. [16 ore]
3. Successioni; Teorema di Bolzano-Weierstrass; funzione esponenziale. [6 ore]
4. Proprietà globali delle funzioni continue: teorema degli zeri e applicazioni; continuità della funzione inversa. Teorema di Weierstrass; continuità uniforme. [6 ore]
5. Derivata e differenziale; regole di derivazione; applicazioni allo studio della monotonia e degli estremi. [6 ore]
6. Teoremi di Rolle e Lagrange, con applicazioni. Polinomi di Taylor: teoremi sul resto e applicazioni. Calcolo di polinomi di Taylor. Applicazione allo studio della convessità in un punto e dei flessi. Concetti sulla convessità su un intervallo. [12 ore]
7. Primitive (integrale indefinito) per funzioni continue a tratti. Regole di integrazione. [6 ore]
8. Integrale definito (di Riemann); classi di funzioni integrabili; media integrale; proprietà algebriche e disequazioni relative all'integrale definito. Funzione integrale: proprietà e teorema fondamentale del calcolo integrale. [6 ore]

9. Integrali impropri e criteri di convergenza. [6 ore]

10. Equazioni differenziali a variabili separabili, equazioni differenziali lineari del primo e secondo ordine. [4 ore]

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni seguiranno gli argomenti delle lezioni e potranno essere di due tipi: o svolte alla lavagna dal personale docente, o svolte ai rispettivi tavoli dagli allievi.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

A. Bacciotti, F. Ricci, *Analisi matematica 1*, Liguori (primo e secondo corso).

C.D. Pagani, S. Salsa, *Analisi matematica. Vol. 1*, Masson (terzo corso).

Testi ausiliari:

P. Boieri, G. Chiti, *Precorso di matematica*, Zanichelli.

A. Tabacco, D. Giublesi, *Temi svolti di Analisi matematica 1*, Levrotto & Bella.

ESAME

L'esame consiste in una prova scritta ed una prova orale. Il superamento della prova scritta è condizione necessaria per accedere alla prova orale. Per sostenere la prova scritta, gli studenti devono prenotarsi presso la segreteria didattica del Dipartimento. Maggiori dettagli sulle modalità di svolgimento delle prove saranno forniti all'inizio del corso.

H0620 Chimica

Anno: periodo 1:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Aldo Priola

In questo corso ci si propone di illustrare le leggi fondamentali della chimica e di stabilire una stretta relazione tra queste e gli aspetti principali della chimica generale e applicata. A tale proposito nella parte finale del corso saranno presentati alcuni processi industriali che verranno discussi in modo critico in relazione ai principi fondamentali della chimica. Si ritiene inoltre indispensabile presentare alcuni aspetti della chimica organica. Nel corso delle esercitazioni saranno utilizzati i principi teorici per risolvere alcuni semplici problemi.

PROGRAMMA

La struttura dell'atomo e le leggi fondamentali della chimica. [12 ore]

Le leggi fondamentali della chimica. La struttura dell'atomo. Comportamento chimico degli elementi, tavola periodica, valenza e legami chimici, significato quantitativo di formule e reazioni.

Lo stato gassoso. [6 ore]

Leggi fondamentali dei gas ideali e reali. Vengono confrontati due approcci differenti allo studio del comportamento della materia: quello sperimentale e quello teorico (teoria cinetica dei gas).

Lo stato liquido e le soluzioni. [6 ore]

Proprietà dei liquidi e delle soluzioni. Modi di esprimere la concentrazione delle solu-

zioni. Proprietà colligative: pressione osmotica, conducibilità elettrica, ebullioscopia e crioscopia.

Stato solido. [6 ore]

I reticoli cristallini di Bravais. Il legame chimico nei solidi e le loro proprietà. Principali difetti reticolari. Diffrazione di raggi X. Diagrammi di stato e regola delle fasi.

Termochimica. [7 ore]

Primo e secondo principio della termodinamica. Tonalità termica delle reazioni chimiche e grandezze termodinamiche (entalpia, energia interna, lavoro). Entropia, energia libera e spontaneità delle trasformazioni chimiche e fisiche. Legge di Hess.

Cinetica. [5 ore]

Fattori che influenzano la velocità di reazione. Equazioni cinetiche per reazioni del primo e del secondo ordine. Energia di attivazione. Vengono confrontati aspetti cinetici e termodinamici nei processi chimici.

Equilibrio chimico. [8 ore]

Legge di azione di massa dedotta da considerazioni cinetiche. Principio di Le Châtelier. Equilibri in fase omogenea e eterogenea. Equilibri in soluzione: dissociazione di acidi e basi (pH), idrolisi, soluzioni tampone.

Elettrochimica. [7 ore]

I potenziali *standard* di riduzione e l'equazione di Nernst. Spontaneità delle reazioni di ossido-riduzione. Pile e celle elettrolitiche.

Chimica organica. [10 ore]

Idrocarburi saturi, insaturi e aromatici. Gruppi funzionali. Nomenclatura, struttura e reazioni chimiche dei composti organici. Reazioni di polimerizzazione.

Chimica descrittiva. [10 ore]

In questa parte del corso sono esaminate le caratteristiche comuni agli elementi di ciascun gruppo della tavola periodica. Alcuni elementi (H, O, Na, Al, C, N, S, Cl, Fe) sono trattati in modo più dettagliato, con riferimento ad alcuni processi industriali di preparazione.

ESERCITAZIONI

Per ciascuno degli argomenti elencati nel *Programma delle lezioni* sono presentati semplici problemi. Le esercitazioni intendono costituire per gli allievi un momento di revisione critica del processo di apprendimento.

BIBLIOGRAFIA

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

C. Brisi, *Esercizi di chimica*, Levrotto & Bella, Torino.

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

Materiale integrativo dattiloscritto darà reso disponibile durante il corso.

ESAME

L'esame si articola in due prove: una prova scritta (A) ed una prova orale (B). La prova A consiste nel rispondere a trenta *quiz* del tipo multiscelta, alcuni dei quali richiedono l'esecuzione di calcoli. La sufficienza conseguita nella prova A consente di accedere alla prova B. La prova orale è completamento di quella scritta e quindi prende le mosse dalle risposte fornite dall'esaminando in quest'ultima. Il superamento dell'esame comporta l'esito positivo di ciascuna delle due prove.

H2300 Geometria

Anno: periodo 1:2

Docenti: Nadia Chiarli, Silvio Greco

(collab.: Giovanna Viola, Paolo Baracco, Antonella Violo)

PROGRAMMA

[La numerazione dei paragrafi indica la successione delle settimane di corso]

1. Vettori applicati e liberi. Spazi vettoriali e sottospazi. Operazioni sui sottospazi. Combinazioni lineari. Insiemi liberi. Basi.
2. Scarti successivi e completamento di un insieme libero. Dimensione. Dimensione dei sottospazi. Dimensione e base di una somma diretta. Rango. Riduzione con applicazione ai sottospazi. Prodotto tra matrici. Matrici invertibili. Sistemi ridotti.
3. Teorema di Rouché–Capelli. Sistemi omogenei. Sistemi ad incognite vettoriali. Calcolo dell'inversa di una matrice. Numeri complessi: definizione, forma algebrica, trigonometrica, radici. Polinomi. Spazi vettoriali su \mathbb{C} . Determinanti. Teorema di Kronecker.
4. Applicazioni lineari: *ker* e *Imf*. Isomorfismi. Applicazione lineare associata a una matrice. Matrice associata ad una applicazione lineare. Terzo modo. Calcolo *Imf*. Isomorfismi e matrici.
5. Teorema di estensione. Controimmagine. Calcolo *Kerf*. Autovalori e autovettori: definizione ed esempi. Polinomio caratteristico. Cambio base. Invarianza del polinomi caratteristico.
6. Endo semplici: teoremi sugli endo semplici. Diagonalizzazione. Spazi con p.s. Ortogonalità e basi ortonormali. Gram–Schmidt. Matrici ortogonali. Endo a.a.
7. Teorema fondamentale sugli endo a.a. Matrici simmetriche. Forme quadratiche. Polinomio minimo. Teorema di Cayley–Hamilton. Relazione tra il p.m. e il p.c.
8. Matrici diagonali a blocchi. Autospazi generalizzati. Endomorfismi nilpotenti: definizione, proprietà, forma canonica.
9. Forma canonica di Jordan. Sistemi differenziali. Equazioni differenziali lineari.
10. Geometria analitica piana. Cambiamenti di riferimento. Riduzione di coniche a forma canonica: teorema con esempi. Coniche degeneri.
11. Rette e piani nello spazio. Sfere. Generalità su curve e superficie.
12. Curve piane. Cilindri. Coni. Superficie di rotazione. Quadriche. Triedro. Curvatura, cerchio osculatore.

BIBLIOGRAFIA

Le lezioni seguono il testo: S. Greco, P. Valabrega, *Lezioni di algebra lineare e geometria*, 2 vol., Levrotto & Bella.

Per gli esercizi si possono consultare: S. Greco, P. Valabrega, *Esercizi risolti*, Levrotto & Bella.

G. Cervelli, A. Di Lello, *Geometria : esercizi svolti*, CLUT.

N. Chiarli, *L'esame di geometria*, Levrotto & Bella.

N. Chiarli, S. Greco, P. Valabrega, *100 esercizi di algebra lineare*, Levrotto & Bella, Torino.

N. Chiarli, S. Greco, P. Valabrega, *100 esercizi di geometria analitica piana*, Levrotto & Bella, Torino.

N. Chiarli, S. Greco, P. Valabrega, *100 esercizi di geometria analitica dello spazio*, Levrotto & Bella, Torino.

ESAME

L'esame consiste in una prova scritta della durata di due ore e in una prova orale.

La prova scritta è suddivisa in tre sezioni:

- nella prima sezione, del valore globale di 20 punti, lo studente deve inserire in apposite caselle le risposte ai quesiti proposti;
- nella seconda sezione, del valore globale di 5 punti, lo studente deve risolvere per esteso uno o più esercizi;
- nella terza sezione, del valore globale di 5 punti, lo studente deve dimostrare uno o più risultati di tipo teorico visti nel corso.

Per accedere alla prova orale occorre aver conseguito un punteggio di almeno 15 punti sui 25 delle prime due sezioni. Al termine della prova scritta viene affissa in bacheca la correzione del compito e lo studente ha facoltà di ritirarsi dall'esame, senza che ciò comporti conseguenze.

Gli studenti che non si ritirano consegnano lo statino alla segreteria didattica del Dipartimento di Matematica nei tempi comunicati in sede di prova scritta.

L'esito dell'esame viene registrato qualunque esso risulti.

La prova orale si svolge nello stesso appello della prova scritta (la commissione, a suo insindacabile giudizio, può decidere di esonerare lo studente dalla prova orale).

Esoneri

Orientativamente dopo le vacanze pasquali viene proposta agli studenti immatricolati nell'anno accademico stesso una prova facoltativa di esonero.

Tale prova, della durata di un'ora, è strutturata nella forma di 30 quiz a risposta multipla. Supera la prova lo studente che fornisce almeno 15 risposte esatte (le risposte sbagliate contano 0).

Lo studente che ha superato la prima prova di esonero è ammesso alla seconda prova di esonero, che ha la durata di un'ora e mezzo e consiste di 20 quiz a risposta multipla, un esercizio, la dimostrazione di un risultato teorico visto nel corso. Supera la prova lo studente che abbia conseguito un punteggio di almeno 15, di cui almeno 10 nei quiz (le risposte sbagliate contano 0).

Lo studente che abbia superato entrambe le prove di esonero con una media di almeno 18 può:

- accettare il voto come voto finale d'esame, se ciò gli viene proposto dalla commissione;
- presentarsi all'orale in uno ed un solo dei tre appelli della sessione estiva (in tal caso l'esito è comunque registrato, con annullamento dell'esonero);
- rinunciare al voto dell'esonero e presentarsi a sostenere l'esame regolare.

H1901 Fisica 1

Anno: periodo 1:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2+2 (ore settimanali)

Docenti: Giovanni Barbero, Ottavia Borello Filisetti, Alfredo Strigazzi

(collab.: Anna Ceresole, Vittorio Mussino)

PROGRAMMA**1. Metrologia. [7 ore]**

Metrologia. Misurazione (diretta e indiretta), misura e incertezza (assoluta e relativa). Sensibilità e precisione. Grandezze fondamentali e derivate. Sistemi di unità di misura. Sistema Internazionale. Analisi dimensionale. Propagazione dell'incertezza in misurazioni indirette [Cfr. 5]. Metodo dei minimi quadrati [Cfr. 2].

2. *Analisi vettoriale.* [5 ore]

Analisi vettoriale. Prodotto scalare e vettoriale. Riferimenti e rappresentazioni di vettori. Matrice delle rotazioni. Convenzione della somma. *Delta* di Kronecker. Operatore d'inversione. Vettori e pseudo-vettori. Doppio prodotto vettoriale. *Nabla* (o *del*) in coordinate cartesiane. Campi. Gradiente. Divergenza. Rotore. [Cfr. 3, 5]

3. *Meccanica.* [50 ore]

3.1 *Cinematica del punto.* [5 ore]

Cinematica del punto. Moto rettilineo e curvilineo. Velocità (scalare e vettoriale). Accelerazione. Componenti intrinseche. Moti ad accelerazione non costante. Velocità e accelerazione angolari.

3.2 *Moti relativi.* [3 ore]

Riferimenti inerziali e non. Relatività galileiana. Moto relativo: regole di composizione delle velocità e delle accelerazioni [Cfr. 4].

3.3 *Dinamica del punto, equazioni cardinali.* [7 ore]

Dinamica del punto. Forza, massa, quantità di moto. Le tre leggi di Newton. Prima equazione cardinale in riferimenti inerziali. Interazioni: gravitazionale, elettrostatica, elastica.

3.4 *Dinamica del punto, approccio energetico.* [5 ore]

Vincoli e attrito radente (statico e dinamico). Attrito del mezzo (viscoso e idraulico). Forze d'inerzia (pseudo-forze) di trascinamento e di Coriolis. Campo di forze. Teorema dell'impulso. Lavoro. Potenza. Teorema lavoro – energia cinetica in riferimenti inerziali e non.

Statica del punto

Campi conservativi

Vettore intensità di campo. Circuitazione. Potenziale ed energia potenziale (e loro gradiente). Conservazione dell'energia meccanica. Teorema di Stokes. Generalizzazione della conservazione dell'energia. Campi centrali. Forze elastiche. Legge di Gauss per campi gravitazionale e coulombiano. Teorema della divergenza (o di Gauss).

3.5 *Oscillazioni.* [4 ore]

Oscillazioni. Moto armonico semplice. Moto armonico smorzato. Oscillazioni forzate. Risonanza. Pendolo anarmonico. [Cfr. 6].

3.6 *Dinamica dei sistemi.* [26 ore]

3.6.1 *Equazioni cardinali, approccio energetico.* [10 ore]

Momento statico. Centro di massa. Quantità di moto. Prima equazione cardinale. Impulso. Teorema dell'impulso. Conservazione della quantità di moto. Urti elastici e anelastici. Moto classico con massa variabile. Cinematica rotazionale. Momento di una forza. Baricentro. Coppia di forze. Momento di una coppia. Dinamica rotazionale. Momento angolare. Seconda equazione cardinale. Teorema dell'impulso del momento. Conservazione del momento angolare. Teorema di König, per l'energia cinetica e per il momento angolare. Momento d'inerzia. Teorema di Huygens – Steiner.

3.6.2 *Dinamica e statica dei corpi rigidi.* [8 ore]

Rotazione di corpo rigido attorno a un asse fisso. Rototraslazione. Matrice d'inerzia. Ellissoide d'inerzia. Assi principali d'inerzia. Moti giroscopici [Cfr. 6].

3.6.4 Gravitazione. [4 ore] Gravità. Leggi di Keplero.

Statica dei sistemi

3.6.3 Statica e dinamica dei fluidi. [4 ore]

Meccanica dei fluidi. Pressione. Legge di Stevino in forma integrale e in forma differenziale. Legge di Archimede. Equazione di continuità in forma integrale e in forma differenziale. Teorema di Bernoulli. Viscosità. Effetto Magnus.

4 *Elettrostatica.* [14 ore]

4.1 *Carica elettrica, campo e potenziale.* [4 ore]

Elettrostatica nel vuoto. Campo e potenziale di una carica, di una distribuzione statica di cariche e di un dipolo.

4.2 *Distribuzione di cariche. Dipoli.* [6 ore]

Dipolo in un campo elettrico costante. Interazione tra due dipoli. Moto di una carica in un campo elettrico. Equazione di Poisson e di Laplace.

4.3 *Condensatori nel vuoto, in equilibrio.* [4 ore]

Capacità. Conduttori in equilibrio. Teorema di Coulomb. Condensatori in serie e in parallelo. Energia del campo elettrostatico.

5 *Ottica geometrica.* [4 ore]

Ottica geometrica. Riflessione e rifrazione. Principio di Fermat. Approssimazione parassiale (o di Gauss). Specchio sferico. Diottra. Prismi. Lenti sottili.

LABORATORIO

1. Misurazione di spostamenti, velocità e accelerazione di gravità per un corpo in caduta libera.
2. Misurazione del periodo di oscillazione del pendolo semplice in funzione della lunghezza del filo e dell'ampiezza di oscillazione.
3. Misurazione dell'indice di rifrazione del vetro con il metodo del prisma in condizione di deviazione minima.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci, *Fisica : meccanica, elettrostatica e ottica geometrica*, SES, Napoli, 1992.

Testi di consultazione:

1. R. Resnick, D. Halliday, K.S. Krane, *Fisica I*, CEA, Milano, 1993.
2. J. R. Taylor, *Introduzione all'analisi degli errori*, Zanichelli, Bologna, 1990.
3. C. Mencuccini, V. Silvestrini, *Fisica*, Liguori, Napoli, 1987.
4. M. Alonso, E.J. Finn, *Elementi di fisica per l'università. I*, Masson - Addison Wesley, Milano, 1982.
5. G. Lovera, B. Minetti, A. Pasquarelli, *Appunti di Fisica I*, Torino, 1982.
6. *La fisica di Berkeley*, Zanichelli, Bologna.
7. G.A. Salandin, *Problemi di fisica*, Ambrosiana, Milano, 1986.

ESAME

L'esame consta di una *prova orale* che si svolge dopo che il docente ha acquisito vari elementi di giudizio (fra i quali l'esito di una prova scritta e le relazioni di laboratorio) circa la formazione culturale dello studente durante lo svolgimento del corso.

La *prova scritta* avviene nella data e nell'ora stabilita per l'appello e consta di tre esercizi che possono riguardare ogni argomento trattato durante il corso. Gli interessati *devono* portare con sé il libretto.

La prova scritta superata in uno dei tre appelli della sessione estiva vale come *esonero* da ogni scritto successivo, fino all'appello di maggio 1996 compreso. Nel senso che: se è stata superata con una votazione di almeno 18/30, la prova orale può essere sostenuta in un qualunque appello a partire da quello in cui si è svolta la prova scritta stessa entro il primo giugno 1996. Superato tale limite, senza aver sostenuto l'esame orale con esito positivo, la prova scritta deve essere ripetuta.

Nel limite temporale indicato, la validità della prova scritta (sostenuta in uno dei tre appelli della sessione estiva) continua a permanere anche nel caso di non superamento della prova orale.

La validità di ogni altra prova scritta, superata con votazione di almeno 18/30, è limitata alla sessione nella quale si è svolta.

Durante la prova scritta è possibile consultare il libro di testo adottato, ma *non* altri libri, né appunti.

Per motivi organizzativi (determinazione del numero di aule prenotabili in funzione del numero di studenti che sostengono l'esame), la *prenotazione all'esame* è obbligatoria. Sugli appositi elenchi, che verranno affissi almeno una settimana prima dell'appello nella bacheca del corso, nel corridoio d'ingresso del Dipartimento di Fisica, lo studente dovrà apporre il proprio cognome e nome con la dizione:

S: solo scritto, O: solo orale, S+O: scritto e orale.

Gli studenti esonerati dallo scritto devono in ogni modo presentarsi nella data e nell'ora stabilita per l'appello.

Lo statino *deve* essere presentato all'atto di sostenere la prova orale.

H2170 Fondamenti di informatica

Anno: periodo 1:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2+4 (ore settimanali)

Docenti: Pietro Laface, Elio Piccolo, Adriano Valenzano

Il corso intende presentare agli allievi gli elementi fondamentali dell'informatica sia dal punto di vista *hardware* sia da quello *software*. Particolare rilievo viene attribuito ai principi ed alle tecniche di programmazione utilizzando come riferimento il linguaggio C. Vengono inoltre fornite nozioni introduttive sulla struttura degli elaboratori e sulla rappresentazione dell'informazione al loro interno.

PROGRAMMA

Parte I (circa 40 % del corso).

Rappresentazione dell'informazione.

Rappresentazioni dei numeri in sistemi a base intera; conversione di base; rappresentazione dei numeri con segno; rappresentazioni in virgola fissa e virgola mobile.

Operazioni aritmetiche nel sistema binario.

Operazioni algebriche nelle diverse rappresentazioni.

Codici binari (BCD, ASCII, Gray etc.).

Algebra di Boole, funzioni logiche, teoremi fondamentali.

Struttura del calcolatore (parti funzionali, cenni tecnologici, classificazione, cenni sulla misura delle prestazioni).

Funzionamento del calcolatore, linguaggio macchina.

Unità periferiche, tecnologie e prestazioni (dischi magnetici e ottici, nastri, dispositivi di presentazione e *display*, stampanti, *plotter*, *mouse*, tavolette, *scanner*).
Linguaggio *assembler* (cenni), linguaggi di alto livello, compilatori, interpreti.
Sistemi operativi, multiprogrammazione, sistemi *real-time*, sistema MS-DOS.

Parte II (circa 60 % del corso).

Strutture informative fondamentali (code, *stack*, tabelle, ...).
Tecniche di programmazione, linguaggio C, sviluppo di programmi in C.
Algoritmi fondamentali (*sort*, *merge*, ...).

ESERCITAZIONI. Verranno svolti esercizi su tutte le parti sviluppate a lezione. Le modalità di svolgimento delle esercitazioni dipendono dal corso (I, II o III) e dagli argomenti: la separazione tra "teoria" e "pratica" non è mai netta.

LABORATORIO.

Esercizi sul sistema MS-DOS. Esercizi di programmazione in linguaggio C.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

P. Demichelis, E. Piccolo, *Introduzione all'informatica*, McGraw-Hill, Milano.
L. Farinetti, E. Piccolo, *Il manuale del laboratorio di informatica*, CLUT, Torino.
B.W. Kernigham, D.M. Ritchie, *The C programming language*, 2. ed., Jackson, Milano.

Testi ausiliari:

J.R. Hanly, E.B. Koffman, F.L. Friedman, *Problem solving and program design in C*, Addison-Wesley, New York.

G. Cabodi, S. Quer, M. Sonza Reorda, *Introduzione alla programmazione in C*, in corso di pubblicazione.

A lexical guide, ANSI C, Prentice Hall, Englewood Cliffs, (trad. italiana, Jackson).

M. Waite, S. Prata, D. Martin, *Programmare in C*.

ESAME

L'esame è composto da due prove scritte e una verifica. La prima prova scritta verte su tutti gli argomenti trattati nel corso mentre la seconda consiste nella realizzazione di un programma in C. La verifica consiste nell'accertamento della correttezza delle due prove scritte, in un eventuale approfondimento orale (a discrezione del docente) e nella registrazione del voto.

Per lo svolgimento della prima prova viene concesso un tempo prefissato (circa 1 ora), dopo di che l'elaborato deve essere consegnato. Gli elaborati verranno corretti nella settimana successiva e i risultati pubblicati nella bacheca dei "dipartimenti elettrici".

Per lo svolgimento della seconda prova, valgono le seguenti modalità:

- viene assegnato un problema da risolvere tramite la realizzazione di un programma in C;
- l'allievo dispone di un tempo prefissato (circa 2 ore) per realizzare il programma su carta, in duplice copia; si consiglia vivamente l'uso di carta carbone;
- una copia del listato viene consegnato agli esaminatori;
- l'allievo dovrà successivamente collaudare il proprio programma su un *personal computer* del LAIB e completare la documentazione dell'elaborato.

Dopo aver sostenuto le due prove e superata la prima con un voto non inferiore a 17, l'allievo dovrà:

1. prenotarsi per una sessione di verifica consegnando il materiale di cui ai punti precedenti in Segreteria studenti dei "dipartimenti elettrici" entro la data fissata dall'apposito avviso;
2. presentarsi alla sessione di verifica con il dischetto contenente il programma sorgente corretto ed il file eseguibile.

Durante la verifica verrà analizzato il materiale prodotto dall'allievo, che è tenuto a motivare le scelte operate per la soluzione del problema. Verrà altresì discussa la prima prova scritta ed eventualmente approfondito l'esame orale. Alla fine verrà comunque attribuito un voto e subito registrato.

Normalmente le due prove scritte e la verifica sono svolte in un unico appello. Vengono tuttavia concesse alcune facilitazioni secondo le modalità descritte in seguito.

Le due prove scritte e la verifica possono essere svolte durante appelli distinti, e l'allievo può ripetere più volte la stessa prova (con alcune restrizioni), indipendentemente l'una dall'altra. Presentarsi a sostenere una prova invalida automaticamente ogni risultato precedente conseguito sullo stesso tipo di prova (non ci si può ritirare). Tra la più vecchia delle due prove e la verifica non devono essere trascorsi più di dodici mesi. La prova di teoria può essere sostenuta senza presentare lo statino e può essere ripetuta più volte, purché tra una volta e la successiva si salti almeno un appello, indipendentemente dalla sessione.

La prova di programmazione può essere sostenuta secondo le modalità stabilite dal calendario ufficiale della Facoltà e richiede sempre la presentazione di uno statino valido.

Anche per la verifica è richiesto uno statino valido se questo non è stato già presentato per la prova di programmazione nella stessa sessione.

Alla scadenza di validità dello statino presentato per una qualsiasi prova si provvederà comunque alla registrazione dell'esame.

H0232 **Analisi matematica 2**

Anno: periodo 2:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Valeria Chiadò Piat

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

REQUISITI. *Analisi matematica 1, Geometria.*

PROGRAMMA

1. Calcolo differenziale in più variabili: funzioni di più variabili e topologia dello spazio euclideo n -dimensionale; [8 ore di lezione + 2 di esercitazione]
calcolo differenziale per funzioni di più variabili, formula di Taylor, massimi e minimi liberi. [10+4 ore]
2. Calcolo differenziale su curve e superfici, funzioni implicite, massimi e minimi vincolati. [8+6 ore]
3. Calcolo integrale in più variabili: misura degli insiemi, integrali multipli. [8+8 ore]
4. Integrali su curve e superfici, integrali di linea e di flusso, campi vettoriali, teoremi di Green, Gauss, Stokes. [10+4 ore]
5. Spazi vettoriali normati e successioni di funzioni; convergenza uniforme. [6+2 ore]
6. Serie numeriche, convergenza assoluta. [6+3 ore]
7. Serie di Taylor e serie potenze. [8+3 ore]
8. Serie di Fourier: convergenza quadratica, puntuale e uniforme. [6+3 ore]
9. Sistemi differenziali: sistemi di equazioni differenziali e problemi di Cauchy; [4+1 h]
equazioni e sistemi lineari a coefficienti costanti. [6+4 ore]

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni seguiranno gli argomenti delle lezioni e saranno di due tipi: o svolte alla lavagna dal personale docente, o svolte ai rispettivi tavoli dagli allievi.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

A. Bacciotti, F. Ricci, *Lezioni di Analisi matematica 2*, Levrotto & Bella, Torino 1991.

Testi ausiliari:

M. Leschiutta, P. Moroni, M.T. Vacca, *Esercizi di matematica*, Levrotto & Bella, Torino, 1977.

P. Marcellini, C. Sbordone, *Esercitazioni di matematica. Vol. 2., parte 1. e 2.*, Liguori, 1991.

ESAME

L' esame consiste in una prova scritta ed una prova orale. Il superamento della prova scritta è condizione necessaria per accedere alla prova orale. Per sostenere la prova scritta, gli studenti devono prenotarsi presso la segreteria didattica del dipartimento. Maggiori dettagli sulle modalità di svolgimento delle prove saranno forniti all'inizio del corso.

H1902 Fisica 2

Anno: periodo 2:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2+(2) (ore settimanali)

Docente: Angelo Tartaglia (collab.: Elena Tresso)

Il corso ha per obiettivo quello di fornire agli studenti una conoscenza sufficientemente ampia dell'elettromagnetismo classico, dei principi della meccanica quantistica e della termodinamica. Il tramite tra l'elettromagnetismo e la meccanica dei quanti è costituito dallo studio delle proprietà e del comportamento fisico delle onde elettromagnetiche e dall'introduzione del concetto di fotone. Infine, per fornire le basi per lo studio del comportamento dei sistemi composti da un gran numero di elementi, si espongono le leggi della termodinamica dal punto di vista di un approccio statistico, con applicazioni alle proprietà magnetiche della materia e al corpo nero.

REQUISITI

È richiesta una preliminare conoscenza delle leggi della meccanica, dell'ottica geometrica e dell'elettrostatica nel vuoto (argomenti trattati nel corso di *Fisica 1*). È necessario saper effettuare derivate e integrali, conoscere le proprietà geometriche dei campi vettoriali, i principi dell'algebra delle matrici, i concetti di limite e di sviluppo in serie.

PROGRAMMA

Campo elettrostatico nei dielettrici; polarizzazione dei materiali isotropi, polarizzazione dei dielettrici anisotropi. Generalizzazione della legge di Gauss.

Correnti elettriche in regime stazionario. Legge di Ohm ed effetto Joule. Circuiti elementari, i principi di Kirchhoff. Cenni ai principi fisici alla base del funzionamento dei generatori di forza elettromotrice continua.

Il campo magnetostatico nel vuoto e le sue proprietà generali. La forza di Lorentz; moto di cariche in campi magnetici statici; il funzionamento del ciclotrone e dello spett-

trometro di massa; l'effetto Hall. Forze su correnti; l'amperometro. La legge di Ampère-Laplace e il calcolo di campi magnetici generati da correnti stazionarie; la relazione di Ampère.

Proprietà magnetiche della materia: diamagnetismo, paramagnetismo, ferromagnetismo; i circuiti magnetici e la riluttanza.

Campi elettromagnetici dipendenti dal tempo. I fenomeni induttivi e la legge di Henry. La relazione di Ampère-Maxwell. Coefficienti di auto- e di mutua induzione. Cenno ai superconduttori e all'effetto Meissner. Energia del campo magnetico di una corrente e densità di energia.

Le equazioni di Maxwell. Le onde elettromagnetiche e le loro caratteristiche. Densità di energia dell'onda; momento trasportato e pressione di radiazione; il vettore di Poynting.

La propagazione delle onde in generale e delle onde elettromagnetiche in particolare. Il principio di Fermat e il principio di Huygens. L'assorbimento di un'onda in un conduttore. L'indice di rifrazione reale e complesso. Passaggio da un mezzo ad un altro: coefficienti di trasmissione e riflessione. Dipendenza dal riferimento: l'effetto Doppler.

Composizione di onde: i battimenti e la velocità di gruppo; l'interferenza tra due onde e la condizione di coerenza, l'interferenza tra le onde provenienti da n sorgenti coerenti, il reticolo di diffrazione e il suo potere separatore, le onde stazionarie; i fenomeni di diffrazione di Fraunhofer e di Fresnel, i limiti fisici alle prestazioni degli apparati ottici. La polarizzazione della luce: birifrangenza naturale e artificiale; l'ellissoide di Fresnel; le lamine polarizzatrici; l'angolo di Brewster. Il dicroismo; l'attività ottica.

La quantizzazione dell'energia elettromagnetica e gli aspetti corpuscolari della radiazione: gli effetti fotoelettrico e Compton. Le proprietà ondulatorie della materia: diffrazione di elettroni. Gli operatori quantici di momento ed energia, il principio di corrispondenza.

Le relazioni di De Broglie. La funzione d'onda e l'equazione di Schrödinger. Interpretazione della funzione d'onda e sue proprietà, il principio di Pauli e il principio di indeterminazione. La buca di potenziale e la quantizzazione dell'energia. La barriera di potenziale e l'effetto tunnel. Cenni alle equazioni di Klein-Gordon e di Dirac.

Principi di meccanica statistica: sistemi a moltissimi gradi di libertà, spazio delle fasi, funzione di distribuzione. La distribuzione di Gauss. Il fattore di Boltzmann e la funzione di partizione. Il concetto di entropia; la temperatura; il secondo principio della termodinamica. La conservazione dell'energia e il primo principio della termodinamica. I potenziali termodinamici; le relazioni di Maxwell e l'equazione di stato. Le trasformazioni termodinamiche e i cicli; il ciclo di Carnot e il rendimento delle macchine termiche; i cicli frigoriferi e le pompe di calore. Capacità termica e calori specifici; la conduzione del calore e l'equazione di Fourier. Il gas perfetto; il gas reale e le isoterme di Van der Waals. L'effetto magnetocalorico. Il paramagnete ideale e la legge di Curie.

Sistemi a numero variabile di particelle, il potenziale chimico. Le statistiche di Fermi e di Bose. Il gas di fotoni in equilibrio termico: il corpo nero, la distribuzione di Planck, le leggi di Kirchhoff, di Stephan-Boltzmann e di Wien.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula sviluppano in forma di esercizi gli argomenti delle lezioni.

LABORATORIO

Le esercitazioni previste sono quattro.

1. Misura di resistenza mediante ponte di Wheatstone e misura di temperatura con sensore PT100.
2. Studio delle oscillazioni forzate in un circuito RLC mediante uso di oscilloscopio e generatore di segnali, e simulazioni al calcolatore di transitori in circuiti RC e RLC.
3. Misura di lunghezza d'onda della luce mediante reticolo di diffrazione e misura di indice di rifrazione mediante luce polarizzata e angolo di Brewster (con sensore a fotodiode).
4. Misura della diffusività termica di un provino metallico.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

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

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

Testi ausiliari:

R. Feynman, *La fisica di Feynman*.

ESAME

L'esame consta di una prova scritta ed una orale. Lo studente che non consegue nello scritto una votazione pari o superiore a 15/30 è sconsigliato dal presentarsi all'orale. Una volta superato lo scritto, l'orale può essere sostenuto in qualunque appello compreso entro la fine del primo periodo didattico dell'anno accademico successivo. Oltre tale termine lo scritto deve comunque essere ripetuto.

H 1530 Economia ed organizzazione aziendale

Anno: periodo 2:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Giovanni Fraquelli (collab.: Elena Ragazzi)

La gestione di ogni attività di impresa, dai fatti squisitamente operativi alle scelte strategiche, risulta fortemente condizionata da valenze economiche. Il corso intende proporre concetti e tecniche di analisi utili al processo decisionale, attingendo ai riferimenti teorici dell'analisi microeconomica e a quelli tecnico-operativi derivanti dalla prassi aziendale. L'obiettivo è dunque quello di fornire una guida utile all'interpretazione dell'attività d'impresa tramite una molteplicità di strumenti di indagine resi disponibili dalle varie discipline economiche e aziendali.

PROGRAMMA

Differenti ottiche di studio dell'impresa.

Significato economico dell'attività d'impresa, costi impliciti e concetto di profitto.

L'utilizzo del bilancio a fini gestionali: analisi del conto economico, stato patrimoniale, flussi finanziari e determinazione degli indici di bilancio.

Teoria della produzione e analisi dei costi: dalla funzione di produzione neoclassica all'analisi empirica dei costi.

Relazione costi - volumi di produzione in presenza di uno o più prodotti.

Produttività e progresso tecnico: concetto di produttività e costruzione di indici di produttività tramite dati di bilancio.

Prezzi, produttività e volumi di produzione.

La valutazione degli investimenti industriali, tecniche di valutazione e costo del capitale.

Aspetti operativi connessi alla valutazione.

ESERCITAZIONI

Produzione e costi:

la produzione come combinazione di fattori;
la produzione come combinazione di processi.

Break-even analysis e decisioni operative:

impresa monoprodotta e prezzo di vendita costante;

impresa monoprodotta e prezzo sensibile alla quantità venduta;

funzione discontinue e un solo prodotto;

scelta del *mix* produttivo con prezzo di vendita costante;

scelta del *mix*: più prodotti e prezzo variabile in funzione della quantità venduta;

più prodotti e *mix* produttivo non specificato;

concorrenza fra due imprese (duopolio).

Analisi della produttività:

indicatori di produttività parziale,

indicatori di produttività globale.

Attività economica e ricadute finanziarie.

Decisioni di investimento.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

G. Fraquelli, *Elementi di economia manageriale : costi, produttività e decisioni di investimento*, CUSL, Torino, 1994.

G. Fraquelli, E. Ragazzi, *Elementi di economia manageriale : temi svolti*, CUSL, Torino, 1994.

Testi ausiliari, per approfondimenti:

G. Zanetti, *Economia dell'impresa*, Il Mulino, Bologna, 1992.

G.J. Thuesen, W.J. Fabrick, *Economia per ingegneri*, Il Mulino, Bologna, 1994.

ESAME. Prova scritta e orale.

H2060 Fisica tecnica

Anno/periodo 2:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Michele Calì Quaglia

Nella prima parte del corso si studiano i fondamenti e le definizioni della teoria della termodinamica elementare riferita ai corpi omogenei e si introducono il primo ed il secondo principio. Si studiano quindi in dettaglio dal punto di vista funzionale e fenomenologico i più importanti dispositivi di conversione energetica e le applicazioni fondamentali. Nella seconda parte del corso, dopo aver dato alcuni cenni di termodinamica dei corpi continui, si sviluppano le leggi fondamentali della trasmissione del calore per conduzione, convezione ed irraggiamento e si studiano i principali dispositivi termotecnici, come gli scambiatori di calore e i generatori di calore. Nell'ultima parte del corso si introducono i concetti fondamentali della illuminotecnica.

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

PROGRAMMA

Termodinamica.

Scopo della termodinamica e cenni storici.

Definizioni (tempo, sistema, ambiente esterno, processo, stato termodinamico, spazio degli stati, linee di trasformazione, processi diretti ed inversi, processi ciclici).

Equazioni di stato.

La termometria.

Il lavoro in generale e nei sistemi aperti.

Il calore e la calorimetria.

Equazioni fondamentali; le trasformazioni adiabatiche.

Il primo principio della termodinamica.

Energia interna ed entalpia.

I sistemi aperti.

Il secondo principio.

Cenni storici.

Il rendimento delle macchine termiche.

Reversibilità, teorema di Carnot, temperatura assoluta, equazione di Clapeyron, entropia, rendimento massimo di un ciclo.

La funzione di accumulazione.

La formulazione generale ed il teorema della diseuguaglianza di accumulazione.

La diseuguaglianza di Planck.

Entropia.

Cenni di energetica.

Il teorema dell'energia utilizzabile o exergia e il rendimento generalizzato.

Relazioni analitiche della termodinamica.

Le trasformazioni fondamentali.

I potenziali termodinamici.

Le equazioni di Maxwell.

Le trasformazioni iso-energetica di Joule e iso-entalpica di Joule-Thompson.

Le equazioni di stato dei fluidi reali.

La legge degli stati corrispondenti.

I cambiamenti di stato.

Rappresentazioni e diagrammi termodinamici.

Le equazioni empiriche (Van der Waals, Dieterici, ecc.); equazione del viriale.

I fenomeni di attrito viscoso.

I cicli ideali dei motori a gas.

Cicli rigenerativi di Stirling e di Ericsson.

Cicli Otto, Diesel, Brayton e Joule.

I cicli dei motori a vapore.

I cicli termodinamici Rankine e Hirn e l'analisi del rendimento.

Le centrali termoelettriche.

Gli impianti di cogenerazione.

Le macchine operatrici.

Frigoriferi e pompe di calore.

Cicli inversi di Carnot.

Cicli a vapore semplici e multistadio.

Le macchine criogeniche.

Miscele di gas e sostanze condensabili.

Psicrometria.

Le trasformazioni delle macchine per la climatizzazione ambientale.

Cenni di termodinamica dei sistemi continui.

Definizioni e proprietà matematiche.

Le equazioni fondamentali di conservazione in forma differenziale ed integrale.

Massa, quantità di moto, energia ed entropia.

Trasmissione del calore e termocinetica.

La conduzione del calore.

Le equazioni fondamentali nello spazio tridimensionale.

Le proprietà termiche dei materiali.

La soluzione di problemi semplici con metodi analitici.

I metodi numerici: differenze finite, volumi di controllo, elementi finiti.

Applicazioni: le equazioni e l'efficienza delle alette.

Applicazioni: gli effetti termoelettrici (Seebeck, Peltier, Thomson).

Il moto dei fluidi isotermi.

Viscosità.

Regimi di moto laminare e turbolento.

Strato limite delle velocità.

Attrito sulle lastre piane e nei condotti.

Efflussi di Fanno e Raleygh.

Efflusso attraverso gli ugelli convergenti e divergenti.

Le equazioni per i fluidi viscosi.

Equazioni di Navier-Stokes.

La convezione forzata e naturale.

I metodi 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.

Grandezze energetiche e fotometriche.

La sensazione visiva.

Il triangolo dei colori.

Sorgenti luminose anaturali ed artificiali.

Calcoli di illuminamento da sorgenti puntiformi ed estese in superficie.

ESERCITAZIONI

Esercizi svolti in aula sui temi trattati a lezione e sviluppo di una monografia di termodinamica sul calcolo completo del ciclo termodinamici e del bilancio energetico di una centrale di cogenerazione a vapore con ciclo Rankine in contropressione. Sviluppo di una monografia di termocinetica sul calcolo fluidodinamico e termico di un generatore di vapore a tubi di fumo.

LABORATORIO

Misure di temperatura con diversi sensori.

Misura di grandezze psicrometriche in un ambiente.

Misura della portata di aria in un condotto.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento: Appunti delle lezioni e materiale distribuito dal docente.

Testi ausiliari:

C. Boffa, P. Gregorio, *Elementi di fisica tecnica*, Levrotto e 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.

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

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

ESAME

L'esame è costituito da un compito scritto, nel quale si chiede di svolgere esercizi numerici e di rispondere a semplici quesiti di teoria, e da un colloquio orale, durante il quale l'allievo è tenuto a presentare ed illustrare le monografie svolte durante le esercitazioni e a rispondere su argomenti di teoria.

H0510 Calcolo numerico

Anno: periodo 2:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Paola Moroni

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 e 2, Geometria, Fondamenti di informatica.*

PROGRAMMA

1. *Aritmetica, errori.* [6 ore]

Rappresentazione dei numeri in un calcolatore. Errori di arrotondamento, operazioni di macchina. Cancellazione numerica. Condizionamento di un problema, stabilità di un algoritmo.

2. *Sistemi lineari.* [12 ore]

Metodo di eliminazione di Gauss. Decomposizione di Gauss e fattorizzazione LU. Determinazione matrice inversa. Metodi iterativi: Jacobi, Gauss-Seidel, SOR.

3. *Autovalori di matrici.* [6 ore]

Metodo delle potenze. Metodo delle potenze inverse. Trasformazioni di similitudine e trasformazioni di Householder. Cenni sul metodo QR.

4. *Approssimazione di dati e di funzioni.* [10 ore]

Interpolazione polinomiale: formule di Lagrange e di Newton. Interpolazione con funzioni polinomiali a tratti. Funzioni *spline*. Metodo dei minimi quadrati.

5. *Equazioni non lineari.* [8 ore]

Radici di equazioni non lineari: metodi di bisezione, secanti, tangenti; metodi iterativi in generale. Sistemi di equazioni non lineari: metodo di Newton e sue varianti. Metodi di ottimizzazione.

6. *Calcolo di integrali.* [8 ore]

Formule di quadratura di tipo interpolatorio: formule di Newton-Cotes e formule gaussiane. Formule composte. *Routines* automatiche.

7. *Equazioni differenziali ordinarie.* [16 ore]

Metodi *one-step* espliciti. Metodi Runge-Kutta Cenni sulle equazioni alle differenze. Metodi *multistep* lineari. Metodi di Adams. Convergenza e stabilità dei metodi numerici. Sistemi *stiff*.

8. *Equazioni alle derivate parziali.* [10 ore]

Caratteristiche. Classificazione delle equazioni quasi-lineari del secondo ordine. Metodi alle differenze finite.

ESERCITAZIONI

Vengono sottolineati, con esempi, aspetti particolarmente importanti degli argomenti trattati nelle lezioni; vengono svolti esercizi che contribuiscono ad una miglior comprensione della teoria, e costruiti algoritmi di calcolo. Vengono infine proposte allo studente delle esercitazioni al calcolatore da svolgersi o a casa o presso i LAIB del Politecnico.

BIBLIOGRAFIA

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

ESAME

È prevista, per i soli iscritti al corso, una prova scritta verso la fine del semestre. Il superamento di questa prova comporta l'esonero della corrispondente parte di programma, purché l'esame finale sia sostenuto in uno degli appelli (5, 6, 7) delle sessioni estive (3, 4). Nel corso della prova non è ammessa la consultazione di testi. L'eventuale ritiro durante la prova di esonero non comporta alcuna conseguenza. L'esame finale è solo orale.

Negli appelli previsti dal calendario l'esame è solo orale.

H1791 Elettrotecnica 1

Anno: periodo 2:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 84+28 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Pier Paolo Civalleri

PROGRAMMA

1. *Circuiti con parametri concentrati e leggi di Kirchhoff.* [1 ora]

Circuiti con parametri concentrati. Convenzioni di segno. Legge delle correnti. Legge delle tensioni. Lunghezza d'onda e dimensioni del circuito.

2. *Elementi di circuito.* [3 ore]

Resistori: resistore lineare invariabile nel tempo, resistore lineare variabile nel tempo, resistore nonlineare. Generatori indipendenti: generatore di tensione; generatore di corrente; circuiti equivalenti di Thévenin e di Norton; forme d'onda e loro rappresentazione; forme d'onda tipiche. Condensatori: condensatore lineare invariabile nel tempo; condensatore lineare variabile nel tempo; condensatore nonlineare. Induttori: induttore lineare invariabile nel tempo; induttore lineare variabile nel tempo; induttore nonlineare; isteresi. Potenza ed energia: potenza assorbita da un resistore, energia accumu-

lata nei condensatori invariabili nel tempo, energia accumulata negli induttori invariabili nel tempo. Passività. Componenti fisici ed elementi di circuito.

3. *Circuiti semplici.* [2 ore]

Resistori collegati in serie. Resistori collegati in parallelo. Resistori collegati in serie parallelo. Analisi con piccoli segnali. Circuiti con condensatori o induttori: condensatori collegati in serie, condensatori collegati in parallelo, induttori collegati in serie, induttori collegati in parallelo.

4. *Circuiti del primo ordine.* [6 ore]

Circuito del primo ordine lineare invariabile nel tempo, risposta all'ingresso zero: circuito RC , circuito RL , risposta all'ingresso zero come funzione dello stato iniziale, esempio meccanico. Risposta allo stato zero: ingresso costante, ingresso sinusoidale. Risposta completa: transitorio, regime permanente, circuiti con due costanti di tempo. Linearità della risposta allo stato zero. Linearità e invariabilità nel tempo: risposta al gradino, proprietà dell'invarianza temporale, l'operatore di traslazione. Risposta all'impulso. Risposta al gradino e all'impulso per circuiti semplici. Circuiti variabili nel tempo e circuiti nonlineari.

5. *Circuiti del secondo ordine.* [4 ore]

Circuito RLC lineare invariabile nel tempo, risposta all'ingresso zero. Circuito RLC lineare invariabile nel tempo, risposta allo stato zero: risposta al gradino, risposta all'impulso. Il metodo dello spazio di stato: equazioni di stato e traiettoria, rappresentazione matriciale, metodo approssimato per il calcolo della traiettoria, equazioni di stato e risposta completa. Oscillazione, resistenza negativa e stabilità. Circuiti nonlineari e variabili nel tempo. Circuiti duali e analoghi: dualità, analogia elettromeccanica.

6. *Introduzione ai circuiti lineari invariabili nel tempo.* [4 ore]

Definizioni e proprietà generali. Analisi mediante i nodi e le maglie: analisi mediante i nodi, analisi mediante le maglie. Rappresentazione ingresso uscita (equazione differenziale di ordine n): risposta all'ingresso zero, risposta allo stato zero, risposta all'impulso. Risposta a un ingresso arbitrario: deduzione dell'integrale di convoluzione, esempio di un integrale di convoluzione in fisica, commenti sui circuiti lineari variabili nel tempo, risposta completa. Calcolo degli integrali di convoluzione.

7. *Analisi in regime sinusoidale.* [6 ore]

Numeri complessi: definizione e operazioni. Fasori ed equazioni differenziali ordinarie: rappresentazione di una sinusoide con un fasore, applicazione del metodo dei fasori alle equazioni differenziali. Risposta completa e risposta in regime sinusoidale: risposta completa, risposta in regime sinusoidale, sovrapposizione in regime sinusoidale. Concetto di impedenza e di ammettenza: relazioni fasoriali per gli elementi di circuito, definizione di impedenza e ammettenza. Analisi in regime sinusoidale di circuiti semplici: connessioni serie e parallelo, analisi mediante i nodi e le maglie in regime sinusoidale, circuiti risonanti: impedenza, ammettenza e fasori, funzione di rete e risposta in frequenza. Potenza in regime sinusoidale: istantanea, media e complessa, proprietà additiva della potenza media, valori efficaci, teorema sul massimo trasferimento di potenza, Q di un circuito risonante. Normalizzazione dell'impedenza e della frequenza.

8. *Elementi di accoppiamento e circuiti accoppiati.* [2 ore]

Induttori accoppiati: caratterizzazione degli induttori accoppiati lineari invariabili nel tempo; coefficiente di accoppiamento, induttori a più avvolgimenti e loro matrice induttanza, collegamento serie e parallelo di induttori accoppiati. Trasformatori ideali: tra-

sformatore ideale a due avvolgimenti, proprietà di trasformazione di impedenza. Generatori pilotati: caratterizzazione dei quattro tipi di generatori pilotati, esempi di analisi circuitale, altre proprietà dei generatori pilotati.

9. *Grafici lineari e teorema di Tellegen.* [2 ore]

Il concetto di grafico. Sezioni e legge delle correnti. Anelli e legge delle tensioni. Teorema di Tellegen. Applicazioni: conservazione dell'energia, parte reale e fase delle impedenze, impedenza, potenza dissipata ed energia accumulata.

10. *Analisi mediante i nodi e le maglie.* [5 ore]

Trasformazioni dei generatori equivalenti. Due fatti basilari dell'analisi mediante i nodi: implicazioni della legge delle correnti, implicazioni della legge delle tensioni, riconsiderazione del teorema di Tellegen. Analisi mediante i nodi delle reti lineari invariabili nel tempo: analisi delle reti resistive, scrittura a vista delle equazioni ai nodi, analisi in regime sinusoidale, equazioni integrodifferenziali, metodo rapido. Dualità: grafici planari, maglie, maglie esterne, grafici duali, reti duali. Due fatti basilari dell'analisi mediante le maglie: implicazione della legge delle tensioni, implicazione della legge delle correnti. Analisi mediante le maglie delle reti lineari invariabili nel tempo: analisi in regime sinusoidale, equazioni integro-differenziali.

11. *Analisi mediante gli anelli e le sezioni.* [2 ore]

Teorema fondamentale della teoria dei grafici lineari. Analisi mediante gli anelli: due fatti basilari dell'analisi mediante gli anelli, analisi mediante gli anelli delle reti lineari invariabili nel tempo, proprietà della matrice impedenza su base di anelli. Analisi mediante le sezioni, due fatti basilari dell'analisi mediante le sezioni, analisi mediante le sezioni delle reti lineari invariabili nel tempo, proprietà della matrice ammettenza su base di sezioni. Commenti sull'analisi mediante anelli e sezioni. Relazione fra le matrici di incidenza di anelli e di sezioni.

12. *Equazioni di stato.* [2 ore]

Reti lineari invariabili nel tempo. Il concetto di stato. Reti nonlineari e variabili nel tempo: caso lineare variabile nel tempo, caso nonlineare. Equazioni di stato per le reti lineari invariabili nel tempo.

13. *Trasformate di Laplace e di Fourier.* [10 ore]

Definizione della trasformata di Laplace. Proprietà basilari della trasformata di Laplace: unicità, linearità, regola di derivazione, regola di integrazione. Soluzione di circuiti semplici: calcolo di risposta all'impulso, espansione in fratti semplici, risposta allo stato zero, teorema di convoluzione, risposta completa. Soluzione di reti generali: formulazione di equazioni algebriche lineari, il metodo di Cramer, funzioni di rete e regime sinusoidale. Proprietà fondamentali delle reti lineari invariabili nel tempo. Equazioni di stato. Reti degeneri. Condizioni sufficienti per l'unicità. Trasformata di Fourier. Integrale di Fourier. Interpretazioni fisiche.

14. *Frequenze naturali.* [1 ora]

Frequenza naturale di una variabile di rete. Il metodo di eliminazione: osservazioni generali, sistemi equivalenti, l'algoritmo di eliminazione. Frequenze naturali di una rete. Frequenze naturali ed equazioni di stato.

15. *Funzioni di rete.* [4 ore]

Definizioni, esempi e proprietà generali. Poli, zeri, e risposta in frequenza. Poli, zeri, e risposta all'impulso. Interpretazione fisica di poli e zeri: poli, frequenze naturali di una rete, zeri. Applicazioni. Proprietà di simmetria.

16. Teoremi sulle reti. [5 ore]

Il teorema di sostituzione: enunciazione, esempi, applicazioni, dimostrazione del teorema. Il teorema di sovrapposizione: enunciazione, osservazioni, esempi, applicazioni, dimostrazione del teorema. Teoremi di Thévenin e Norton: enunciazione, esempi, osservazioni e corollari, casi speciali, dimostrazione del teorema di Thévenin e di Norton, applicazioni. Teorema di reciprocità: enunciazione, esempi, osservazioni, dimostrazione del teorema.

17. Doppi bipoli. [4 ore]

Richiami sui bipoli. Doppi bipoli resistivi: varie descrizioni dei doppi bipoli, doppi bipoli non lineari terminati, modello incrementale e analisi per piccoli segnali. Esempi di transistori; configurazione a base comune, configurazione a emettitore comune. Induttori accoppiati. Matrici impedenza e ammettenza di doppi bipoli: matrice impedenza a vuoto, matrice ammettenza in corto circuito, un doppio bipolo terminato. Altre rappresentazioni dei doppi bipoli: le matrici ibride, le matrici di trasmissione.

18. Reti resistive. [1 ora]

Reti fisiche e modelli di rete. Analisi delle reti resistive dal punto di vista energetico: reti lineari formate di resistori passivi, proprietà di minimo della potenza dissipata, minimizzazione di funzioni appropriate, reti resistive nonlineari. attenuazione di tensione e di corrente di una rete resistiva: attenuazione di tensione, attenuazione di corrente.

19. Energia e passività. [4 ore]

Condensatore lineare variabile nel tempo: descrizione del circuito, iniezione di energia nel circuito, interpretazione nello spazio di stato, bilancio energetico. Energia accumulata negli elementi nonlineari variabili nel tempo: energia accumulata in un induttore nonlineare variabile nel tempo, energia accumulata in un condensatore variabile nel tempo. Bipoli passivi: resistori, induttori e condensatori, bipoli passivi. Ingresso e risposta esponenziali. Bipoli costituiti da elementi lineari invariabili nel tempo passivi. stabilità delle reti passive: reti passive e reti stabili, passività e stabilità, passività e funzioni di rete. Amplificatore parametrico.

20. Sistemi trifasi. [10 ore]

Sistemi trifasi simmetrici: generalità, collegamento a stella e a triangolo, potenza nei sistemi trifasi simmetrici ed equilibrati, misura della potenza nei sistemi trifasi simmetrici ed equilibrati, campo rotante. Scomposizione dei sistemi trifasi dissimmetrici: sequenza diretta, inversa e zero, terne dissimmetriche pure e spurie, operazioni fra terne, principio di scomposizione, stelle a vertici comuni, terne di operatori complessi. Analisi delle reti trifasi: equazioni generali, reti simmetriche, reti di sequenza, triangolo non simmetrico potenze attive e reattive, potenza fluttuante, misura della potenza nei sistemi dissimmetrici. Applicazioni delle componenti simmetriche: equilibratura di un carico monofase, campi rotanti, correnti di guasto.

21. Grandezze periodiche non sinusoidali. [6 ore]

Serie di Fourier. Analisi armonica. Caratteri di simmetria. Esempi. Reti elettriche in regime periodico non sinusoidale. Valori efficaci; potenze. Fattori di paragone. Oscillografi. Relazione fra serie e integrale di Fourier. Conversione della corrente alternata in corrente continua e viceversa: raddrizzatori e invertitori.

BIBLIOGRAFIA

- P.P. Civalleri, *Elettrotecnica*, Torino, Levrotto & Bella, 1995.
 C.A. Desoer, E.S. Kuh, *Basic circuit theory*, Singapore, McGraw-Hill, 1988.
 K. Kupfmüller, *Einführung in die theoretische Elektrotechnik*, Berlin, Springer, 1988.
 G. Sameda, *Elementi di elettrotecnica generale*, Bologna, Patron, 1981.

H0234 **Analisi matematica 3**

(Corso ridotto)

Anno: periodo 3:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 50+12 (ore, nell'intero periodo)
 Docente: Giancarlo Teppati

Introduzione e sviluppo delle tecniche matematiche avanzate di uso più frequente nell'ingegneria: in particolare, studio di funzioni complesse di variabile complessa e delle trasformate di Fourier e di Laplace. Saranno studiate in modo esteso le funzioni analitiche e verranno anche introdotti argomenti di analisi funzionale classica, come la teoria delle distribuzioni e il prodotto di convoluzione, in modo da poter trattare correttamente, dal punto di vista matematico, le trasformate integrali.

PROGRAMMA

Funzioni complesse di variabile complessa, esempi di funzioni complesse, limiti, continuità, derivabilità, funzioni analitiche, condizioni di Cauchy-Riemann sotto forma cartesiana e polare, funzioni armoniche, coniugate armoniche.

Integrazione in campo complesso, teorema fondamentale di Cauchy sull'integrazione, poli e residui, teorema dei residui, formula integrale di Cauchy, formula integrale per le derivate, teorema di Liouville, calcolo di integrali e lemmi relativi.

Sviluppi di Taylor e di Laurent. Teoremi vari sulle serie. Convergenza ed unicità e esistenza di sviluppi di Taylor e di Laurent, residuo all'infinito, principi di identità.

Studio locale di funzioni analitiche, classificazione delle funzioni analitiche.

Introduzione alla teoria delle distribuzioni, successioni e limiti di successioni di funzioni e funzionali, distribuzioni come funzionali lineari e continui, operazioni sulle distribuzioni, *delta* e p.f. *1/t*, prodotto di convoluzione di funzioni e distribuzioni.

Introduzione alle trasformate di Fourier e di Laplace di funzioni, proprietà della trasformata di Fourier di funzioni, distribuzioni a crescita lenta, trasformata di Fourier di distribuzioni a crescita lenta.

Calcolo di trasformate di Fourier di distribuzioni notevoli, distribuzioni periodiche e trasformate, treno di impulsi e trasformate, teorema del campionamento, trasformata di Laplace, dominio e teorema sulla analiticità di una trasformata di Laplace.

Formula di antitrasformazione della trasformata di Laplace, trasformata unilatera di Laplace e sue proprietà.

BIBLIOGRAFIA

G. Teppati, *Lezioni di Analisi matematica III*, Levrotto & Bella (in corso di stampa).
 G. Teppati, *Esercizi svolti di Analisi matematica III* (in corso di stampa).

ESAME

L'esame consiste di una prova scritta e di una prova orale.

Il prerequisito necessario per sostenere l'esame è l'aver sostenuto gli esami di *Analisi 1* e *2*.

H 3204 **Meccanica analitica**

(Corso ridotto)

Anno: periodo 3:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8+2 (ore settimanali)

Docente: Franco Piazzese

Il corso approfondisce alcuni argomenti fondamentali di fisica classica (indispensabili tanto nello studio di qualsiasi argomento di fisica moderna quanto in numerose applicazioni) che nei corsi di fisica di base non hanno potuto essere trattati, non solo per la scarsità del tempo ma anche per la metodologia necessaria. Vengono impiegati gli strumenti matematici appropriati, in parte noti da altri corsi (quali il calcolo differenziale ed integrale e l'algebra lineare) ed in parte introdotti nel corso (per esempio, il calcolo delle variazioni). Per il carattere culturale, il corso offre argomenti preziosi in un mondo lavorativo tecnico-scientifico in rapida evoluzione.

REQUISITI. Si assumono come prerequisiti gli argomenti fondamentali trattati nei corsi di *Analisi matematica 1 e 2*, *Geometria*, *Fisica 1*.

PROGRAMMA

Richiami sulla meccanica della particella e dei sistemi di particelle. Vincoli. Gradi di libertà. Sistemi olonomi. Energia cinetica di un sistema olonomo. Spostamenti virtuali. Principio dei lavori virtuali. Equazioni di Lagrange. Potenziale dipende dalle velocità. Funzione di dissipazione di Rayleigh. Piccole oscillazioni. Linearizzazione delle equazioni del moto.

Elementi del calcolo delle variazioni. Principio di Hamilton. Deduzione delle equazioni di Lagrange dal principio di Hamilton. Estensione del principio di Hamilton a sistemi non conservativi e non olonomi. Vantaggi della formulazione variazionale. Analogie fisiche. Teoremi di conservazione e proprietà di simmetria.

Cenni sul problema dei due corpi. Riduzione ad un problema ad un corpo equivalente. Cinematica del corpo rigido. Angoli di Eulero. Parametri di Cayley-Klein. Teorema di Eulero sul moto di un corpo rigido con un punto fisso. Rotazioni finite e infinite-sime. Dinamica relativa. Dinamica del corpo rigido. Momento angolare ed energia cinetica. Tensore d'inerzia. Ellissoide d'inerzia. Equazioni del moto di Eulero. Costruzione di Poincaré. Moto di una trottola pesante: quadrature e cenni sulle soluzioni.

ESERCITAZIONI. Il corso è corredato di esercitazioni in aula in cui vengono proposti esercizi ed applicazioni relative agli argomenti svolti a lezione.

LABORATORIO

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

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

Esiste anche l'edizione italiana (Zanichelli, Bologna, 1971), che, essendo la traduzione della prima edizione americana (1950) è meno consigliata.

Testi ausiliari, per approfondimenti:

A. Fasano, S. Marmi, *Meccanica analitica*, Bollati Boringhieri, 1994.

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

ESAME

Agli studenti che hanno seguito regolarmente il corso si consiglia di:

1. sostenere una prova scritta al termine del corso, comprendente tanto esercizi quanto domande sulla teoria, riguardante l'intero programma svolto;
 2. presentare, in forma seminariale, un argomento a scelta concordato con il docente.
- La valutazione d'esame, effettuata in base alle prove di cui sopra, sarà registrata nel corso delle regolari sessioni d'esame.

Esiste in ogni caso la possibilità di sostenere l'esame – consistente usualmente in una prova orale sugli argomenti del programma – presentandosi agli appelli d'esame.

H4600 **Scienza delle costruzioni**

Anno: periodo 3:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 60+52+8 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Enrico Ballatore

La *meccanica dei solidi elastici lineari* viene trattata deducendo le equazioni di equilibrio e congruenza e le leggi costitutive nella formulazione generale del solido tridimensionale, che viene particolarizzata per il caso bidimensionale (lastre o piastre) e unidimensionale (travi). Le relazioni analitiche sono estese alle applicazioni numeriche, con particolare riguardo al metodo degli elementi finiti di cui sono 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 sono 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 il principio dei lavori virtuali, secondo la metodologia di Muller-Breslau.

Vengono infine illustrati i *fenomeni di collasso* più frequenti nell'ingegneria strutturale: lo svergolamento, lo snervamento e la frattura fragile.

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

PROGRAMMA

1. *Geometria delle aree*: leggi di trasformazione del vettore dei momenti statici e del tensore dei momenti di inerzia per roto-traslazioni del sistema di riferimento; direzioni e momenti principali di inerzia; cerchi di Mohr; simmetria assiale e polare.
2. *Cinematica dei sistemi di travi*: vincoli piani; maldisposizione dei vincoli; studio algebrico; studio grafico dei sistemi ad un grado di labilità (catene cinematiche).
Statica dei sistemi di travi: studio algebrico; dualità statico-cinematica.
3. *Sistemi di travi isostatici*: determinazione delle reazioni vincolari con le equazioni ausiliarie, con il principio dei lavori virtuali e con il metodo grafico; curva delle pressioni; caratteristiche interne della sollecitazione; equazioni indefinite di equilibrio per le travi; archi a tre cerniere; strutture chiuse; travature reticolari.

4. *Analisi della deformazione*: tensore delle deformazioni; dilatazioni e scorrimenti; proiezioni del vettore spostamento; legge di trasformazione del tensore delle deformazioni per rotazioni del sistema di riferimento; direzioni principali di deformazione; dilatazione volumetrica.
5. *Analisi della tensione*: vettore tensione; tensore degli sforzi; proiezioni del vettore tensione; legge di trasformazione del tensore degli sforzi per rotazioni del sistema di riferimento; direzioni principali di tensione; tensori idrostatico e deviatorico; cerchi di Mohr; stato tensionale piano; equazioni indefinite di equilibrio; equazioni di equivalenza al contorno; formulazione matriciale e dualità statico-cinematica; principio dei lavori virtuali.
6. *Legge costitutiva elastica*: elasticità lineare; isotropia; modulo di Young e coefficiente di Poisson; problema elastico; equazione di Lamé in forma operatoriale; teorema di Clapeyron; teorema di Betti.
Criteri di resistenza: diagrammi tensione – deformazione per materiali duttili e fragili; criterio di Tresca; criterio di von Mises.
7. *Solido di Saint Venant*: ipotesi fondamentali; sforzo normale; flessione retta; sforzo normale eccentrico; flessione deviata; nocciolo centrale di inerzia; ortogonalità energetica; torsione (sezioni circolari e generiche, sezioni sottili aperte e chiuse); taglio (centro di taglio, trattazione semplificata di Jourawsky, sezione rettangolare, scorrimento medio, sezioni sottili); equazioni di congruenza per le travi; equazione di Lamé per le travi; equazione differenziale della linea elastica.
8. *Lastre piane*: equazione di Sophie Germain; cenni al metodo delle differenze finite. *Applicazione del principio dei lavori virtuali alle travi elastiche*: determinazione degli spostamenti di strutture isostatiche e risoluzione delle strutture iperstatiche con distorsioni e spostamenti imposti, teoremi di Castigliano e Menabrea.
9. *Risoluzione di telai piani iperstatici*: simmetria e anti-simmetria; metodo degli spostamenti; distorsioni termiche; telai a nodi fissi; telai a nodi spostabili.
10. *Sistemi di travi iperstatici*: metodo delle forze; iperstaticità assiale; cedimenti elastici; cedimenti anelastici e spostamenti imposti; calcolo automatico dei sistemi a molti gradi di iperstaticità (travature reticolari, telai piani e spaziali, grigliati).
11. *Metodo degli elementi finiti*: principio di minimo dell'energia potenziale totale, costruzione delle matrici di rigidezza locale e globale mediante applicazione del principio dei lavori virtuali; condizioni di vincolo; illustrazione dell'utilizzo di un programma di calcolo agli elementi finiti.
12. *Instabilità dell'equilibrio elastico*: trave rettilinea con varie condizioni di vincolo, portali; limiti di validità della formula di Eulero; cenni sull'instabilità degli anelli; instabilità flessione-torsionale.
13. *Meccanica della frattura*: analisi energetica di Griffith, fattore di intensificazione delle tensioni, cenni su modo II e modo misto.
Cerniere plastiche: nella trave a sezione rettangolare.

ESERCITAZIONI

- 1-2. *Geometria delle aree*: calcolo delle caratteristiche geometriche di aree elementari; esercizi su figure composte.
3. *Cinematica dei sistemi di travi*: catene cinematiche e loro applicazione al calcolo reazioni vincolari.
- 4-5. *Sistemi di travi isostatiche*: equazioni cardinali ed equazioni ausiliarie; determinazione delle reazioni vincolari con le equazioni ausiliarie e con il metodo grafico; diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione; curva delle pressioni.
6. *Esercitazioni riepilogative* su strutture isostatiche con soluzione dei temi di esame degli anni precedenti relativi a tali argomenti.
- 7-8. *Solido di Saint Venant*: esercizi relativi a flessione retta, sforzo normale eccentrico, flessione deviata, nocciolo centrale di inerzia, torsione (sezioni circolari, sezioni sottili aperte e chiuse), taglio, centro di taglio.

9. *Analisi della tensione e criteri di resistenza*: rappresentazione degli stati di tensione con i cerchi di Mohr, verifica complessiva delle sezioni; cenni sui criteri di sicurezza.
10. *Applicazione del principio dei lavori virtuali alle travi elastiche*: determinazione degli spostamenti in strutture isostatiche; risoluzione delle strutture iperstatiche con distorsioni e spostamenti imposti.
- 11-12. *Risoluzione di telai piani iperstatici*: telai a nodi fissi e a nodi spostabili con carichi, cedimenti e distorsioni termiche.
13. *Esercitazioni riepilogative* su strutture iperstatiche e verifica delle sezioni con soluzione dei temi di esame degli anni precedenti relativi a tali argomenti.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

A. Carpinteri, *Scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna, 1992.

Testo ausiliario:

A. Carpinteri, *Temi d'esame*, Pitagora, Bologna, 1993.

ESAME

L'esame si compone di:

1. una prova scritta che comprende tre esercizi:
 - A una struttura isostatica,
 - B una struttura iperstatica,
 - C una sezione (calcolo delle caratteristiche geometriche e verifica di resistenza).
 Ciascun esercizio pone due quesiti: la prova è positiva se sono stati risolti almeno i primi quesiti di tutti e tre gli esercizi.
2. una prova orale sugli argomenti del programma svolto a lezione ed esercitazione;
3. una tesina sugli elementi finiti svolta utilizzando il programma illustrato nel corso e disponibile presso il LAIB del Politecnico. La prova scritta deve essere svolta tracciando tutti i grafici richiesti in forma precisa e accurata su carta quadrettata (da 5 mm) o su carta millimetrata, utilizzando quando necessario riga e squadra. Non viene consentito l'utilizzo di testi e appunti.

La prova orale deve essere sostenuta nello stesso appello in cui è stato superato lo scritto.

H4660 **Scienza e tecnologia dei materiali elettrici**

Anno: periodo 3:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6 (ore settimanali)

Docente: Daniele Mazza

Richiamando i concetti fondamentali della fisica e della chimica dello stato solido, il corso si prefigge lo scopo di correlare la struttura dei materiali con le loro proprietà elettriche, magnetiche, termiche e meccaniche. I materiali di interesse per le tecnologie elettriche vengono classificati in funzione delle loro caratteristiche di impiego nei settori specifici, mentre vengono fornite le nozioni di base sulle tecnologie di produzione di elementi, leghe e composti da utilizzare nelle varie realizzazioni.

PROGRAMMA

1. *La struttura dell'atomo.*

Atomo e particelle elementari. Orbite stazionarie, quantizzazione dell'energia e del momento angolare. Correlazione tra momento magnetico e momento angolare.

2. *Lo stato solido.*

Il legame chimico. Tipologia dei legami chimici. La struttura dei materiali. I solidi cristallini e lo stato amorfo. Caratteristiche delle sostanze cristalline. Struttura reticolare e cella elementare. Reticoli cristallini a simmetria cubica. I cristalli metallici e gli impaccamenti compatti. I cristalli ionici e l'energia reticolare. Strutture di ossidi ed alogenuri. Strutture di cristalli covalenti.

3. *Caratteristiche meccaniche dei materiali.*

Sforzo e deformazione. Il modulo di elasticità. Meccanismi di deformazione e slittamento. I grani cristallini. Le soluzioni solide. Strutture a più fasi e diagrammi di stato. Proprietà meccaniche dei materiali ceramici. Proprietà meccaniche dei polimeri.

4. *Elementi di teoria delle bande nei solidi*

I solidi metallici. I solidi covalenti. I solidi ionici.

5. *La conduzione elettrica nei metalli.*

La conduzione secondo un semplice modello. Conduzione e struttura a bande. Elementi di conduzione secondo la fisica quantistica. Distribuzione di energia degli elettroni. La resistività elettrica nei conduttori. La resistività elettrica nei solidi polifasici. Materiali usati come resistori elettrici. La resistività elettrica nei solidi ionici. Emissione di elettroni dai materiali.

6. *La conduzione elettrica nei semiconduttori.*

Natura strutturale dei semiconduttori. Semiconduttori estrinseci. Mobilità dei portatori. Portatori minoritari e ricombinazione.

7. *La giunzione n-p nei semiconduttori estrinseci.*

Polarizzazione della giunzione. Rottura della giunzione *n-p*. Il diodo *tunnel*. Il *transistor*. Il *transistor* ad effetto di campo (FET). La fotocellula. Il termistore. Materiali e composti semiconduttori.

8. *La superconduzione.*

Correnti critiche di superconduzione. Difetti reticolari e e superconduzione. materiali Superconduttori metallici. Materiali superconduttori ceramici.

9. *Proprietà termiche dei materiali.*

La capacità termica. Il calore specifico reticolare. Il calore specifico elettronico. Capacità termica totale. Espansione termica. Conducibilità termica. Fenomeni di contatto.

10. *I materiali dielettrici.*

Fattori influenzanti la costante dielettrica. Dissipazione di energia. Materiali isolanti. Materiali ferroelettrici. Materiali antiferroelettrici. Materiali piezoelettrici. Materiali piroelettrici. Materiali polimerici. I polimeri e le reazioni di polimerizzazione. Il peso molecolare delle macromolecole. Polimeri termoplastici e termoindurenti. Caratteristiche elettriche dei materiali polimerici. Classificazione dei principali polimeri termoplastici. Classificazione dei principali polimeri termoindurenti.

11. *I materiali magnetici.*

Materiali diamagnetici. I materiali paramagnetici. I materiali ferromagnetici. Struttura dei domini. Antiferromagnetismo. Ferrimagnetismo. Anisotropia ferromagnetica. Materiali magnetici metallici (dolci). Materiali magnetici ceramici (dolci). Materiali magnetici metallici (duri). Materiali magnetici ceramici (duri).

12. Materie prime, metallurgia, proprietà ed applicazioni elettriche degli elementi.

Principali elementi del 1. e 2. gruppo (cenno, in particolare Mg). Alcuni tra i principali metalli di transizione (in particolare Fe, Co, Ni, Cu, Ag, Zn). Principali elementi del 3., 4., 5. e 6. gruppo (in particolare Al, C, Si). Cenno su lantanidi e attinidi.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento: Appunti rilegati forniti dal docente.

Testi ausiliari, per approfondimenti:

L. Solymar, D. Walsh, *Lectures on the electrical properties of materials*, 5th ed., Oxford Univ. Press, 1993.

R. Rose, L. Shepard, J. Wulff, *Struttura e proprietà dei materiali. Vol. 4, proprietà elettriche*, Ed. Ambrosiana, 1975.

H3210 Meccanica applicata alle macchine

Anno: periodo 3:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Guido Belforte

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

REQUISITI. Nozioni di meccanica di base.

PROGRAMMA

Ruote dentate e rotismi. Trasmissione del moto tra assi paralleli, incidenti e sghembi. Ruote ad attrito. Profilo dei denti. Ruote cilindriche a denti diritti: elementi geometrici, interferenza, proporzionamento modulare, minimo numero di denti, forze scambiate e reazioni sui supporti. Ruote cilindriche a denti elicoidali: elementi geometrici, grandezze normali e frontali, forze scambiate e reazioni sui supporti. Ruote coniche: elementi geometrici, ruota piano conica, forze scambiate e reazioni sui supporti. Ruote cilindriche a denti elicoidali tra assi sghembi. Coppia vite senza fine e ruota elicoidale. Rotismi ordinari ed epicicloidali. Differenziali e cambi di velocità. [18 ore]

Aderenza ed attrito. Attrito radente e volvente. Impuntamento. Applicazioni al moto di ruote e veicoli, quadrilateri, supporti a rotolamento, montaggio di perni. Sistema vite e madrevite: rendimento, reversibilità, viti differenziali. Freni a ceppi piani, a tamburo, a disco. Frizioni piane, multiple, coniche. [18 ore]

Trasmissione del moto con flessibili: cinghie piane e trapezoidali (rapporto di trasmissione, rendimento, ecc.), funi, catene, paranchi. [6 ore]

Giunti di trasmissione: elastici, articolati, giunto di Cardano, giunti omocineticici. Sistemi con camma e punteria. [4 ore]

Supporti a rotolamento e lubrificati. Proprietà dei lubrificanti, teoria elementare della lubrificazione, perni e pattini lubrificati. [6 ore]

Equilibri dinamici. Applicazioni del teorema della quantità di moto, del momento della quantità di moto e dell'energia. Sollecitazioni dinamiche su elementi rotanti ed equili-

bramento dei rotori. Studio dei fenomeni transitori nelle macchine. Accoppiamento di macchine motrici ed operatrici. Funzionamento in regime periodico. Calcolo dei volani. [10 ore]

Vibrazioni di sistemi a parametri concentrati ad uno ed a più gradi di libertà. Uso delle trasformate nello studio dei sistemi vibranti. Misura delle vibrazioni. Trasmissibilità. Velocità critiche. [8 ore]

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nello svolgimento di esercizi relativi a quanto sviluppato nelle lezioni, con particolare riferimento all'uso di dati numerici e alle unità di misura. Durante le esercitazioni saranno forniti agli studenti degli esercizi da svolgere nel corso della settimana, la cui soluzione sarà presentata la volta successiva. Si raccomanda vivamente di provare a svolgerli a casa. Ai fini di una verifica orientativa del tipo di preparazione potranno venire assegnati in aula esercizi da svolgere con l'assistenza diretta del personale docente e degli studenti borsisti.

BIBLIOGRAFIA

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

ESAME. L'esame si svolge in forma orale sull'intero programma del corso (lezione ed esercitazione).

H1710 **Elettronica applicata**

Anno:periodo 3:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4+2 (ore settimanali)

Docente: Franco Mussino

Il corso tratta delle applicazioni dei circuiti elettronici analogici e digitali. Dopo aver esaminato i componenti elettronici fondamentali, passivi ed attivi, viene sviluppata l'analisi e la progettazione di circuiti elettronici analogici elementari e complessi, fino all'esame della stabilità di sistemi elettronici controeazionati ed ai criteri di stabilizzazione. Viene sviluppato anche lo studio degli oscillatori e degli amplificatori di potenza. Infine vengono analizzati i fondamentali circuiti logici combinatori (porte logiche) e sequenziali (*flip-flop*, contatori, registri a scorrimento, convertitori A/D, ecc.) con varie tecnologie (TTL, MOS, C-MOS).

REQUISITI. *Elettrotecnica*.

PROGRAMMA

Esame dei componenti passivi: resistenze, condensatori ed induttanze. I componenti attivi: esame dei fenomeni di conduzione e diffusione nei semiconduttori; la giunzione $p-n$: caratteristica del diodo; modelli del diodo; il diodo Zener; circuiti limitatori, sfioratori e raddrizzatori.

Il transistorore bipolare BJT (*nnp* e *pnp*): principio di funzionamento; modello di Ebers-Moll; caratteristiche a base comune ed emettitore comune; valori limite per l'uso come amplificatore. Determinazione del punto di funzionamento del transistorore BJT sulle caratteristiche e sua scelta in base al tipo di accoppiamento al carico. Circuito equivalente in continua. Circuiti di autopolarizzazione e con specchio di corrente (Widlar,

Wilson, ecc.). Comportamento del transistor BJT in condizioni dinamiche; modello per piccoli segnali; parametri h e circuito equivalente a *pi-greco* con deduzione del valore dei parametri dalle caratteristiche.

Il transistor JFET: principio di funzionamento e caratteristiche. Il transistor MOS a canale indotto e preformato. Calcolo del punto di funzionamento sulle caratteristiche. Circuito equivalente per il piccolo segnale e determinazione del valore dei parametri.

Stabilità termica dei circuiti con transistori BJT: fuga termica; criteri per la stabilizzazione ed il calcolo del dissipatore termico. Analogia elettrotermica.

Calcolo delle amplificazioni e delle impedenze d'entrata e d'uscita di singoli stadi con transistori BJT e JFET, nelle varie possibili configurazioni. L'amplificatore differenziale con transistori BJT e JFET. L'amplificatore operazionale: comportamento ideale e reale.

Studio della risposta in frequenza di amplificatori monostadio e multistadio; espressioni analitiche e tracciamento dei diagrammi di Bode (modulo e fase). Risposta all'onda quadra e legami con la risposta in frequenza.

Sistemi con reazione. Esame delle situazioni tipiche per il prelievo e l'iniezione dei segnali; esame dei principali vantaggi e dei criteri di stabilità; metodi di compensazione in caso di instabilità. Risposta in frequenza e nel tempo dei sistemi di secondo ordine. Gli oscillatori: criteri di Barkausen ed esame dei principali tipi di oscillatori sinusoidali.

Sistemi di potenza. Regolatori e stabilizzatori di tensione lineari ed a commutazione (principio di funzionamento). Amplificatori di potenza in classe A e B: calcolo del rendimento e delle potenze dissipate dai transistori. Dimensionamento dei dissipatori.

Sistemi digitali. Richiami dei fondamenti di algebra booleana e delle funzioni logiche. I livelli logici ed il margine di rumore. Funzionamento delle porte logiche fondamentali (NAND e NOR) con tecnologie varie (MOS, C-MOS, TTL, ECL). Circuiti bistabili (*flip-flop*: SR e JK); esempi di impiego. Registri a scorrimento e contatori (sincroni e asincroni, binari e decadici). Contatori programmabili. *Array* logici, FPLA, PAL, PROM, EPROM, ecc. Convertitori A/D.

ESERCITAZIONI

Richiami di elettrotecnica e calcolo di impedenze e di funzioni di trasferimento di reti elettriche semplici. Richiami del metodo dei nodi ed applicazioni.

Calcolo del punto di funzionamento di circuito con diodo e comportamento dinamico. Calcolo di verifica e di progetto di circuiti raddrizzatori. Stabilizzatore con diodo Zener.

Calcolo del punto di funzionamento a riposo di circuiti con uno o più transistori BJT e JFET. Calcolo dei coefficienti di stabilità per le variazioni termiche.

Calcolo dell'amplificazione e delle impedenze relative a circuiti con uno o più transistori BJT e FET. Amplificatore *cascode*.

Calcolo della risposta in frequenza di transistori BJT in configurazione CE e CC. Risposta di transistori JFET.

Risposta all'onda quadra di circuiti RC. Risposta di amplificatore con transistor BJT con gruppo RC sull'emettitore. Frequenza di taglio superiore di amplificatori con uno o più transistori con metodi vari (nodi, DPI, Miller).

Calcolo della risposta in frequenza e dell'errore di amplificazione di circuiti con amplificatori operazionali (OA). *Off-set* e reiezione di modo comune di amplificatori opera-

Calcolo dell'amplificazione e dell'impedenza d'entrata e d'uscita di circuiti controreazionati con metodi vari (nodi, DPI, A e *beta*). Esame della stabilità di amplificatore controreazionato e stabilizzazione con criterio del polo dominante. Risposta di sistema del secondo ordine.

Calcolo di circuito stabilizzatore di tensione. Calcolo di dissipatori di potenza.

Calcolo di resistenza di *pull-up*, di interfacciamento fra TTL e MOS, di interfacciamento con *relais* e LED. Dimostrazione del funzionamento di circuiti sequenziali e contatori. Convertitore A/D.

LABORATORIO

Introduzione all'uso dei simulatori di circuiti elettronici (SPICE e PSPICE).

Esercizi con circuiti vari per la verifica dei calcoli eseguiti a mano. Tracciamento della risposta in frequenza e del comportamento dinamico.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

Millman e Grabel, *Microelectronics*, 2nd ed., Mc-Graw-Hill (esiste la traduzione in italiano).

Testi ausiliari, per approfondimenti:

Sedra, Smith, *Circuiti per la microelettronica*, Ed. Ingegneria 2000.

E. Perano, *Il transistor: applicazioni lineari*, CLU.

A. Lacaita, M. Sampietro, *Circuiti elettronici*, Città Studi.

S. Franco, *Amplificatori operazionali e circuiti integrati analogici*, Hoepli.

M. Biey, *Spice e Pspice: introduzione all'uso*, CLUT.

Savant, Roden, Carpenter, *Electronic design, circuits and systems*, 2nd ed., Benjamin / Cummings.

V. Pozzolo, *Caratteristiche di componenti elettronici*, CELID.

ESAME. Prova scritta (3 ore) ed orale.

H1792 Elettrotecnica 2

Anno:periodo 3:2

Docente: Michele Tartaglia

PROGRAMMA

Linee elettriche

Introduzione alle linee elettriche ed equazioni dei telegrafisti. Andamento temporale di tensioni e correnti sulle linee; caso delle linee senza perdite e condizioni di Heaviside. Applicazioni ai transistori sulle linee: alimentazione di una linea a vuoto, alimentazione di una linea chiusa su carico resistivo, induttivo e capacitivo; transistori su linee collegate in cascata con l'interposizione di un resistore, induttore o condensatore.

Linee a regime sinusoidale, caso di linea di lunghezza infinita e di linea di lunghezza finita chiusa su bipolo passivo. Metodo delle onde dirette e riflesse, carta di Smith, effetto Ferranti. Potenze in entrata ed uscita da una linea, considerazioni sulle perdite e sulla regolazione della tensione.

Introduzione ai campi

Richiami sugli operatori differenziali del primo ordine gradiente, divergenza e rotore; classificazione di campi irrotazionali, solenoidali, armonici e qualsiasi. Teorema di

Stokes e della divergenza. Introduzione del potenziale scalare, vettore e di entrambi nei casi irrotazionale, solenoidale e qualsiasi. Richiami sugli operatori del secondo ordine.

Campi elettrostatici

Equazioni del campo ed equazione costitutiva. Campi prodotti da cariche puntiformi. Principio di metallizzazione delle superfici. Principio delle immagini. Spinterometro a sfere. Campi prodotti da distribuzioni lineari di cariche. Capacità di condensatori cilindrici in varie configurazioni geometriche con assi paralleli. Capacità di esercizio di linee trifasi in cavo ed aeree.

Campi di corrente statici

Equazioni del campo ed equazione costitutiva. Analogie con i campi elettrostatici. Caso di dispersori sferici; resistenza di terra, tensioni di di passo e di contatto. Potenza specifica.

Campi magnetostatici

Equazioni del campo ed equazione costitutiva; legge della circuitazione magnetica e dei flussi magnetici. Introduzione del potenziale vettore e legge di Biot e Savart. Circuiti magnetici, casi lineari e non lineari; i magneti permanenti.

Campi elettromagnetici

Equazioni del campo ed equazione costitutiva. La legge di Faraday. Le equazioni del campo elettromagnetico espresse con potenziale scalare e vettore. Deduzione dei bipoli ideali passivi dalle equazioni di campo in casi significativi. Coefficienti di auto e mutua induttanza, il caso delle linee elettriche. Effetto pelle in casi unidimensionali, conduttori indefiniti o di spessore costante percorsi da corrente e non (lamierini magnetici). Equazione dell'onda piana.

Elettromeccanica

Principi generali ed applicazioni ai casi di campo elettrostatico, di corrente statico e magnetico. Pressione su superfici di separazione tra dielettrici di diversa permittività, tra materiali magnetici di diversa permeabilità e forze agenti sui conduttori o su strutture ferromagnetiche. Il vettore di Poynting.

Calcolo numerico di campi con il metodo degli elementi finiti

Si introduce il calcolo approssimato di campi per geometrie complesse con il metodo degli elementi finiti. Si propongono i principi fondamentali del metodo e la tecnica di applicazione; esempi nel caso di campo magnetostatico ed elettromagnetico quasi stazionario. Visualizzazione su calcolatore delle elaborazioni numeriche e delle grandezze e parametri deducibili per l'analisi ed il progetto di componenti elettromeccanici.

ESERCITAZIONI

Ogni argomento è corredato di esercitazioni numeriche o esemplificative.

H3130 Macchine elettriche

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali); 60+20+15 (nell'intero periodo)
 Docente: Paolo Ferraris

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

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, riluttanza 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 $\cos(\phi) = 0$; 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.

F_{em} indotte e f_{mm} 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 f_{mm} . 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. F_{em} 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. Someda, *Elementi di costruzione delle macchine elettriche*, Pàtron, Bologna.

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

H3660 Misure elettriche

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 80+48 (nell'intero periodo)

Docente: Andrea Abete

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 esercitazioni e 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 primari e secondari. Incertezza nelle misure dirette e indirette; 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. Costituzione, funzionamento, caratteristiche e uso degli strumenti di misura: magnetoelettrici, magnetoelettrici a raddrizzatori e a termocoppie, elettrodinamici, elettromagnetici, a induzione. Trasformatori di misura di corrente e di tensione; partitori di tensione e di corrente. Strumenti di misura elettronici: amplificatori per misure; amplificatori operazionali; strumenti analogici a deviazione; conversione analogico-numerica (A / D) e viceversa (D / A); convertitori ADC e DAC; strumenti numerici; strumenti con microprocessori. Strumenti di misura oscillografici e selettivi: oscilloscopi catodici analogici e numerici, registratori; analizzatori di onda e di spettro. Sensori e trasduttori attivi e passivi. Sistemi automatici di misura; trasmissione dei segnali digitali; interfacce normalizzate.

3. Misure su circuiti in corrente continua: uso di strumenti elettromeccanici ed elettronici; misura 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 in regime sinusoidale: simmetrici ed equilibrati, simmetrici e squilibrati, dissimetrici e squilibrati; misure su circuiti trifase in regime periodico. Metodi di confronto: ponti e potenziometri in corrente continua e in corrente alternata; applicazioni dei ponti in condizioni di equilibrio; ponti automatici. Misure magnetiche: curva normale di magnetizzazione e cifra di perdita dei materiali ferromagnetici. Determinazione dei parametri dinamici e taratura di strumenti di misura. Misura su impianti di messa a terra. Interferenze e reiezioni dei disturbi.

ESERCITAZIONI

1. Determinazione della incertezza nelle misure dirette e indirette.
2. Valutazioni statistiche.

LABORATORIO

1. Determinazione sperimentale dei parametri dinamici di uno strumento del 2. ordine dal modulo della risposta in frequenza.
2. Determinazione dei parametri di un bipolo passivo non lineare in corrente continua.
3. Misura della resistenza degli avvolgimenti di un trasformatore monofase. Misura della resistenza e della resistività di un isolante.
4. Determinazione dei parametri del circuito equivalente di un trasformatore monofase.
5. Determinazione della cifra di perdita e della curva normale di magnetizzazione di lamierini ferromagnetici.
6. Esperienze con oscilloscopio analogico e numerico.
7. Analisi sperimentale nel dominio della frequenza e del tempo di circuiti elettrici del 1. e 2. ordine.
8. Determinazione diretta delle caratteristiche a carico di un motore asincrono trifase.
9. Rilievo delle caratteristiche corrente – tensione di un modulo fotovoltaico con un sistema automatico di acquisizione dati.

BIBLIOGRAFIA

- A. Abete, *Misure elettriche ed elettroniche*, CELID, Torino, 1995.
 A. Abete, R. Tommasini, *Problemi ed esperienze di misure elettriche ed elettroniche*, CELID, Torino, 1995.
 S. Wolf, *Guide to electronic measurements and laboratory practice*, Prentice-Hall, 1983.
 E.O. Doebelin, *Measurement systems : applications and design*, McGraw-Hill, 1990.

ESAME

Per accedere all'esame è propedeutico aver sostenuto almeno gli esami di *Analisi matematica*, *Fisica* e una *Elettrotecnica*.

L'esame orale a fine corso si basa sulla discussione degli argomenti svolti nelle lezioni e delle relazioni svolte nelle esercitazioni di laboratorio.

A metà periodo didattico è possibile sostenere un esame scritto parziale sul programma svolto, valido come prova di esonero.

H0840 Controlli automatici

Anno:periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4+2 (ore settimanali)

Docente: Giovanni Fiorio

L'insegnamento riguarda sia l'analisi di sistemi fisici di varia natura (elettrica, meccanica, termica, idraulica, pneumatica, ecc.), con lo scopo di determinarne le leggi di funzionamento in regime transitorio, sia la struttura dei sistemi di controllo, sia le proprietà richieste per i sistemi dotati di controllo, sia le procedure per il progetto degli organi di controllo di sistemi dinamici che garantisca il verificarsi delle proprietà richieste.

REQUISITI. Le nozioni propedeutiche necessarie per seguire il corso e prepararne l'esame sono quelle di elettrotecnica, di geometria e di matematica, soprattutto per quanto riguarda l'uso di vettori, matrici e trasformate di Laplace.

PROGRAMMA

1. *Il problema del controllo automatico.* Concetto di sistema. Ingressi (comandi e disturbi), uscite (primarie e secondarie). Enunciato del problema in forma operativa. Schema generale di un sistema dotato di controllo. Proprietà degli elementi componenti. Elenco delle competenze richieste ad un esperto di controlli automatici.

2. *La costruzione di modelli matematici di sistemi fisici.* Rappresentazione grafica dei modelli; schemi a blocchi e loro regole di elaborazione. Modelli matematici approssimati per sistemi elettrici, meccanici, elettromeccanici, termici, idraulici e pneumatici.

3. *Elementi di analisi di segnali e di sistemi.* Risposte nel dominio del tempo e della frequenza. Cenni su processi stocastici e dinamica statistica. Proprietà strutturali.

4. *L'incertezza nei modelli di sistemi e di segnali.* La costruzione di modelli dinamici approssimati come lineari, a parametri concentrati ed invarianti nel tempo, a partire dalle leggi fisiche dei corrispondenti sistemi. Errori di modello in termini di incertezza dei rispettivi parametri. Sensitività.

5. *Dinamica dei sistemi monovariabili (un comando, una uscita con retroazione).* Criteri di Routh e di Nyquist. Costruzione dei diagrammi di Nyquist. Margini di stabilità. Costruzione dei luoghi delle radici. Proprietà dei luoghi delle radici.

6. *Specifiche per la qualificazione dei sistemi di controllo.* Enunciato del problema del controllo automatico in forma matematica. Specifiche sulla rapidità di risposta e sulla stabilità relativa. Specifiche sulla precisione a regime stazionario. Specifiche sull'attenuazione dei disturbi e della sensitività. Specifiche sulla sicurezza.

7. *Strutture particolari dei sistemi di controllo monovariabili, e loro proprietà ai fini del soddisfacimento delle specifiche.* Compensazione in cascata ed in retroazione; retroazione dalle variabili di stato e da generiche uscite secondarie; filtraggio del riferimento e filtraggio (previa misura dei disturbi). Strutture miste.

8. *Progetto degli organi di controllo per sistemi monovariabili.* Progetto di compensatori in cascata sulla base di specifiche assegnate, con particolare riguardo ai compensatori di larga diffusione industriale. Progetto di compensatori di forma prefissata relativi ad altre strutture. Orientamenti per la scelta della forma degli organi di controllo. Sintesi diretta con uno o due gradi di libertà nella forma dei blocchi componenti.

9. *Introduzione allo studio del controllo digitale.* Componenti digitali dei sistemi di controllo. I sistemi a tempo discreto. La trasformata *zeta* e le sue principali proprietà. Le funzioni di trasferimento impulsive. Cenni al progetto di sistemi di controllo digitali.

ESERCITAZIONI

Alle esercitazioni in aula è dedicata una quaterna di ore consecutive ogni settimana. Le settimane dedicate alle esercitazioni sono circa una dozzina, ed ogni esercitazione riguarda l'argomento trattato a lezione la settimana precedente. A ciascuno dei nove capitoli del programma delle lezioni è dedicata una esercitazione settimanale, salvo a quelli di maggior estensione, cui sono dedicate due esercitazioni successive. Il testo di riferimento per le esercitazioni ne riporta 13, per 13 settimane successive. Per ogni esercitazione sono presentati una decina di problemi da risolvere. Nella seconda parte del testo è riportata la risoluzione completa di alcuni di questi problemi.

BIBLIOGRAFIA

Per le lezioni:

G. Fiorio, *Controlli automatici, con elementi di teoria dei sistemi*, CLUT, 1992.

Per le esercitazioni:

G. Fiorio, S. Malan, *Esercitazioni di controlli automatici*, CLUT, 1990.

ESAME

L'esame consiste di due parti, entrambe orali; la prima riguarda la discussione di una tesina, preparata durante il corso con l'uso dei mezzi del LABORATORIO di Informatica di Base; la seconda riguarda tutto il programma delle lezioni e delle esercitazioni.

H3110 Macchine

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 78+42 (nell'intero periodo)

Docente: Paolo Campanaro

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'obbiettivo 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 e 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 *Termodinamica applicata* 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 alle macchine. Primo principio della termodinamica in sistemi chiusi e aperti. Fluidodinamica nelle macchine. Effusori e diffusori, geometria dei condotti. [8 ore]

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. [8 ore]

Turbine a vapore. Triangoli di velocità. Stadi ad azione e a reazione, portate, potenze, condizioni di funzionamento con massimo rendimento termodinamico. Turbine assiali e radiali. Dimensionamento. Funzionamento fuori progetto della turbina. Regolazione degli impianti. La condensazione degli impianti a vapore. [12 ore]

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, ciclo di lavoro, funzionamento, perdite caratteristiche, regolazione. [14 ore]

Turbine a gas: considerazioni termodinamiche sul ciclo, ciclo ideale e ciclo reale. Funzionamento in condizioni di massimo lavoro e massimo rendimento. Prestazioni, mezzi per migliorare il rendimento dell'impianto. Organizzazione meccanica dell'impianto, schema monoalbero e bialbero, funzionamento e regolazione degli impianti. Ciclo con aria e ciclo con elio: analisi comparata delle due soluzioni. [12 ore]

Macchine idrauliche motrici e operatrici; turbine Pelton, Francis, Kaplan, loro funzionamento in condizioni di massimo rendimento, regolazione dell'impianto di potenza. Le turbopompe, loro regolazione. Pompe volumetriche. La cavitazione nelle turbomacchine idrauliche. Le pompe-turbine. [12 ore]

Motori alternativi a combustione interna: classificazione, cicli di lavoro. Ciclo ideale, ciclo limite, ciclo indicato dei motori ad accensione comandata e ad accensione per compressione. Motore a quattro tempi e a due tempi. Funzionamento, riempimento dei motori, caratteristica meccanica del motore. Perdite caratteristiche, rendimenti, prestazioni. Alimentazione e regolazione di tali motori. Cenni sulla sovralimentazione. [12 ore]

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. Montevicchi, *Turbine a gas*, CLUP, Milano, 1977.

ESAME

L'esame prevede una prova scritta utile a definire la capacità dell'allievo a risolvere problemi di tipo applicativo sulle macchine a fluido integrata da un colloquio orale sul corso. La prova ed il colloquio sono svolte all'interno dello stesso appello d'esame.

H2701 Impianti elettrici 1

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4(6)+4(2) (ore settimanali)

Docente: Roberto Pomè

Il corso si propone di fornire le informazioni fondamentali sulla struttura ed organizzazione funzionale degli impianti elettrici di alta, media e bassa tensione, sui principali componenti e sulle regole generali di progettazione, installazione e gestione, includendo anche i problemi più significativi inerenti alla sicurezza e alle normative che la presidiano.

REQUISITI. *Elettrotecnica 1 e 2, Macchine elettriche.*

PROGRAMMA

1. Generalità sugli impianti elettrici. Richiamo alle disposizioni di legge e di normativa che presidiano gli impianti elettrici.

Descrizione generale del sistema elettrico italiano di produzione, trasmissione, distribuzione; struttura delle reti di trasmissione e distribuzione alle varie tensioni; parametri

caratteristici.

Centrali di produzione: tipologia e caratteristiche principali.

2. Stato del neutro: problematiche generali e disposizioni normative. Comportamento dei sistemi elettrici in caso di guasto, in relazione allo stato del neutro.

Impianti di terra: criteri di realizzazione e disposizioni normative. Calcolo delle configurazioni di guasto dei sistemi elettrici.

Sistemi di protezione: caratteristiche costruttive e funzionali.

3. Regolazione di tensione e frequenza.

Regolazione della tensione ai nodi di produzione e sulle reti.

Perturbazione di tensione: tipologie, effetti e metodi di controllo e protezione.

4. Guasti sulle reti: sovracorrenti. Effetti termici e dinamici delle sovracorrenti.

Tipi di guasto e metodologie di protezione. Definizioni e prescrizione normative. Criteri di calcolo delle sovracorrenti per i vari tipi di reti elettriche. Relè di protezione.

5. Componenti principali delle reti elettriche: caratteristiche costruttive e funzionali.

Prescrizioni e definizioni normative. Interruttori di alta, media e bassa tensione; fusibili, interruttori di manovra, contattori di media e bassa tensione.

Stazioni AT / MT, quadri elettrici di media e bassa tensione. Trasformatori AT / MT e MT / BT; tipologie costruttive e modalità di utilizzo ed installazione. Cavi e linee blindate.

6. Criteri fondamentali di progettazione delle reti MT e BT; definizione dello schema di distribuzione in relazione agli obiettivi funzionali, scelta e proporzionamento dei componenti, regole di coordinamento e vincolo normativi.

ESERCITAZIONI

1. Componenti simmetriche: definizione e proprietà.

2. Applicazione del metodo delle componenti simmetriche per il calcolo delle configurazioni di guasto. Modelli di sequenza dei principali componenti.

3. Calcolo delle correnti di corto circuito secondo norma IEC 909.

4. Proiezione di videocassette su argomenti impiantistici (prove di laboratorio, stazioni AT, ecc.).

5. Applicazione di programmi di calcolo commerciali al progetto di reti elettriche BT.

6. Progetto di impianti di rifasamento.

7. Visite a cabine elettriche.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento: nessuno

Testi ausiliari:

Illiceto, *Impianti elettrici*, Patron.

Cataliotti, *Impianti elettrici*, Flaccovio.

H 1435 **Disegno tecnico industriale + Costruzione di macchine** (Corso integrato)

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6(2)+2(6) (ore settimanali)
Docente: Giovanni Roccati

Il corso intende fornire, con il primo modulo, una formazione di base sulle norme del disegno tecnico, in modo da consentire agli allievi l'interpretazione dei disegni delle macchine già esistenti, sia l'esecuzione di schizzi e semplici disegni, e potrà essere completato da alcuni cenni sull'uso di tecniche CAD. Il secondo modulo fornisce i concetti fondamentali per i calcoli di verifica e progetto degli organi delle macchine con particolare riferimento ai problemi di maggiore interesse per l'ingegnere elettrico.

REQUISITI. Sono propedeutici, soprattutto al secondo modulo, i corsi di *Meccanica applicata alle macchine* e *Scienza delle costruzioni*.

PROGRAMMA

Disegno tecnico industriale

Assonometrie unificate, proiezioni ortogonali, sezioni, criteri generali di quotatura.

[4 ore]

Tolleranze dimensionali, generiche e ISO, tolleranze di forma. [6 ore]

Tecniche per definire le forme dei pezzi, criteri specifici di quotatura, e rugosità superficiale. [6 ore]

Disegno di elementi di macchine di particolare rilevanza: linguette, profili scanalati, cuscinetti a rotolamento, ruote dentate, illustrazione di alcuni esempi di disegni significativi. [8 ore]

Cenni su tecniche CAD. [2 ore]

Costruzione di macchine

Richiami sullo stato di sollecitazione di un punto, tensioni principali, cerchi di Mohr, fatica ed effetto di intaglio, calcoli di verifica dei cuscinetti a rotolamento. [10 ore]

Ruote dentate; studio geometrico e calcoli di resistenza. [6 ore]

Dischi rotanti e tubi spessi. [6 ore]

Verifica collegamenti con linguette e scanalati, bulloni. [6 ore]

Molle. [4 ore]

Velocità critiche flessionali ed oscillazioni torsionali. [6 ore]

ESERCITAZIONI

Schizzi o minute di elementi meccanici e di complessivi preferibilmente di macchine od apparecchiature elettriche. [26 ore]

Applicazioni numeriche sul proporzionamento di organi meccanici, o calcolo di velocità critiche e pulsazioni proprie torsionali. [14 ore]

BIBLIOGRAFIA. Appunti dalle lezioni del corso, sussidiati da fotocopie di appunti precedentemente preparati dal docente.

ESAME

L'esame prevede:

– una prima prova grafico scritta avente una durata complessiva di 4 ore, dedicate per

3 ore alla soluzione di esercizi numerici, per l'ultima ora alla esecuzione di un semplice disegno;

– un successivo colloquio orale.

La raccolta delle tavole e degli esercizi eseguiti dall'allievo durante il corso costituirà un elemento ulteriore di valutazione, e pertanto dovrà essere presentato dall'allievo alla commissione esaminatrice.

H1770 Elettronica industriale di potenza

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); 80+14+14 (nell'intero periodo)

Docente: Franco Villata

Il corso, a carattere applicativo, tratta i principali problemi posti alla conversione statica alternata – continua, con particolare attenzione alle applicazioni destinate alla realizzazione di alimentatori, di azionamenti in continua, o del primo stadio di convertitori alternata – alternata.

Vi sono analizzate le principali strutture di conversione, per le quali sono trattate le sollecitazioni lato alternata, i problemi del dimensionamento termico, i filtri di potenza in uscita, il dimensionamento di massima dei componenti elettromagnetici. Sono inoltre descritte le principali architetture dei circuiti di regolazione ed i trasduttori di tensione e di corrente di più frequente impiego.

Particolare rilievo è dato agli aspetti energetici ed ai problemi posti dalla gestione di potenze anche rilevanti, promuovendo la formazione di una "mentalità" orientata alla potenza.

REQUISITI. *Elettrotecnica ed Elettronica applicata.*

PROGRAMMA

1 *Strutture di conversione non controllata monofase.* [8 ore]

1.1 Generalità.

Diodo a semiconduttore. Analisi del funzionamento di reti contenenti diodi.

1.2 Strutture monofasi.

Convertitore semionda monofase. Convertitore controfase. Convertitore a ponte monofase.

2 *Componenti elettromagnetici e filtri di potenza.* [13 ore]

2.1 Trasformatore di alimentazione.

Richiami sul funzionamento del trasformatore. Potenza di dimensionamento di un trasformatore. Dipendenza dalle dimensioni dei parametri del trasformatore.

2.2 Filtri di potenza.

Filtro induttivo. Filtro capacitivo. Filtro LC. Circuito equivalente macchina a corrente continua.

2.3 Problemi di progetto dei componenti reattivi.

Parametri di un condensatore elettrolitico per filtri. Dimensionamento di massima di una induttanza. Dimensionamento di massima di un trasformatore monofase.

3 *Diodi controllati e circuiti di innesco.* [7 ore]

3.1 Diodi controllati.

Costituzione fisica. Caratteristiche estrne. Tipi costruttivi.

3.2 Circuiti impulsatori e trasformatori per impuls.

- 4 *Strutture di conversione controllata monofase.* [11 ore]
 - 4.1 Convertitore controfase.
 - 4.2 Doppio controfase antiparallelo.
 - 4.3 Ponte monofase semicontrollato.
 - 4.4 Ponte monofase controllato.
- 5 *Strutture di conversione controllata trifase.* [11 ore]
 - 5.1 Semionda trifase.
 - 5.2 Ponte trifase.
- 6 *Commutazione e problemi connessi.* [4 ore]
- 7 *Dimensionamento termico delle strutture.* [5 ore]
 - 7.1 Modelli termici.
 - 7.2 Dimensionamento termico di massima.
 - 7.3 Dissipatori.
- 8 *Protezioni.* [9 ore]
 - 8.1 Protezioni da sovraccarichi.
Interruttori extrarapidi e fusibili. Condizionamenti al progetto termico.
 - 8.2 Sovratensioni.
Principali cause. Protezioni più usate.
- 9 *Sistemi di regolazione.* [8 ore]
 - 9.1 Generalità sulle strutture di regolazione.
 - 9.2 Sfasatori.
 - 9.3 Regolazione ad anelli separati.
 - 9.4 Regolazione ad anelli in cascata.
 - 9.5 Doppio controllo armatura eccitazione.
 - 9.6 Regolatore per doppio convertitore antiparallelo.
- 10 *Trasduttori.* [4 ore]
 - 10.1 Trasduttore di tensione quasi isolato.
 - 10.2 Trasduttori di corrente ad effetto Hall.
 - 10.3 Trasduttori di corrente che impiegano TA.
 - 10.4 Reattori saturabili.
 - 10.5 TA ad impulsi.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nella applicazione dei metodi e delle nozioni fornite nelle lezioni per l'analisi del funzionamento od il dimensionamento di convertitori alternata-continua. Esse saranno svolte parte in aula, parte nel laboratorio informatico del Dipartimento di Ingegneria elettrica.

I laboratori consistono nell'analisi del funzionamento di sistemi di conversione con visualizzazione delle forme d'onda di tensione e di corrente più significative; essi saranno svolti presso i laboratori del Dipartimento di Ingegneria elettrica.

BIBLIOGRAFIA

H. Buhler, *Traité d'Electricité. Vol. 15., Électronique industrielle. 1, Électronique de puissance*, Georgi, Lausanne.

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

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

ESAME. L'esame consiste in un colloquio orale teso ad accertare l'acquisizione da parte dell'allievo dei metodi di studio e delle problematiche dei sistemi descritti nelle lezioni. I temi sviluppati nelle esercitazioni e nei laboratori possono fornire spunto per la discussione.

H3780 Modellistica dei sistemi elettromeccanici

Anno: periodo 5: 1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2+2 (ore settimanali); 74+20+16 (nell'intero periodo)
 Docente: Mario Lazzari

Oggi l'energia elettrica viene sempre più frequentemente utilizzata attraverso una fase di condizionamento (conversione statica), che provvede, non solo a variarne le caratteristiche in termini di tensione e di frequenza, ma anche a regolarne il flusso in relazione alle necessità del carico. L'attuale impiego dei motori elettrici avviene pertanto in situazioni di alimentazione non convenzionale e risulta sempre più utile una conoscenza approfondita del loro funzionamento, basata sia su tecniche teoriche descrittive sia su metodi informatici di rappresentazione. Questo corso intende fornire agli allievi ingegneri elettrici le conoscenze e gli strumenti necessari alla comprensione e all'analisi dei fenomeni transitori, che interessano le macchine elettriche nelle loro attuali applicazioni. A questo scopo il corso si propone di:

1. ampliare il quadro delle conoscenze sulle macchine elettriche e sulle sorgenti statiche di alimentazione;
2. fornire i metodi generali di trattazione dei sistemi elettrici convertitore-macchina;
3. studiare i fenomeni transitori e i comportamenti a regime tipici di questi sistemi elettrici.

PROGRAMMA

0. *Richiami sugli avvolgimenti distribuiti.* [8 ore]

- 0.1 Distribuzione di densità di conduttori in un avvolgimento. Distribuzione di f.m.m.
- 0.2 Flusso concatenato. Auto- e mutue induttanze tra avvolgimenti.
- 0.3 F.e.m. indotta: componenti mozionali e trasformatoriche. Coppia.

1. *Sistemi in corrente continua.* [12 ore]

- 1.1 Macchina a corrente continua.
Richiami sulle caratteristiche di funzionamento e di applicazione. Modello matematico della macchina e metodi di integrazione.
- 1.2 *Chopper* e convertitori CA-CC.
Strutture di *chopper* e analisi del funzionamento. Modello logico del *chopper* e dei convertitori CA-CC a diodi e a SCR. Tecniche di rappresentazione di strutture con interruttori statici e diodi.
- 1.3 Sistemi convertitori + macchina.
Cenni ai principali tipi di azionamento dei motori a corrente continua. Metodi di costruzione del modello matematico dell'azionamento.

2. *Sistemi in corrente alternata. Motori.* [30 ore]

- 2.1 Trasformazioni delle grandezze elettriche.
Trasformazione bifase - trifase. Trasformazione di rotazione. Trasformazioni complesse.
- 2.2 Motore asincrono.
Equazioni elettriche e di concatenamento magnetico degli avvolgimenti. Trasformazione delle equazioni di macchina su assi di comodo. Bilancio energetico ed espressione della coppia e modello dinamico del motore asincrono. Cenni alle modalità di rappresentazione dei fenomeni di saturazione.
- 2.3 Macchina sincrona.
Equazioni elettriche e di concatenamento magnetico degli avvolgimenti. Trasformazione delle equazioni di macchina su assi di comodo. Bilancio energetico ed espressione della coppia e modello dinamico della macchina sincrona.

3 *Sistemi in corrente alternata. Convertitori statici.* [18 ore]

3.1 *Inverter.*

Inverter di tensione: strutture e funzionamento. *Inverter* di corrente. Metodi di modellizzazione di *inverter*.

3.2 *Convertitore + macchina in c.a.*

Modelli di azionamenti di motori asincroni a rotore avvolto. Modelli di azionamenti di motori asincroni con *inverter*. Modelli di azionamenti di motori sincroni con *inverter*.

4 *Trasformatore.* [6 ore]

4.1 *Calcolo delle correnti magnetizzanti.*

Correnti magnetizzanti a regime e in transitorio nei trasformatori trifase.

4.2 *Trasformatori con convertitori CA / CC.*

Modello a regime del trasformatore per convertitori.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni del corso consistono essenzialmente nella applicazione dei metodi e delle nozioni fornite nelle lezioni. Esse saranno svolte in parte in Sala Macchine per le misure sulle macchine e sui convertitori, e in parte nel laboratorio informatico del Dipartimento di Ingegneria elettrica o nel LAIB per la parte di simulazione.

ESAME. L'esame è orale ed è teso ad accertare l'acquisizione da parte dell'allievo dei metodi di studio dei sistemi descritti nelle lezioni. I temi sviluppati nelle esercitazioni possono costituire una base di spunto per la discussione in sede di esame.

H2702 **Impianti elettrici 2**

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Roberto Napoli

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 di distribuzione con particolare attenzione ai problemi di analisi, gestione e progetto nel rispetto delle esigenze di economia e sicurezza.

REQUISITI. *Elettrotecnica, Macchine elettriche, Impianti elettrici 1.*

PROGRAMMA

1. *Introduzione.*

Caratteristiche principali e configurazioni tipiche dei sistemi elettrici per l'energia. Descrizione del sistema elettrico italiano: produzione, trasmissione, distribuzione, utilizzazione.

2. *Trasmissione.*

Sistema di trasmissione in corrente alternata. Limiti di trasmissione. Trasmissione in corrente continua. Confronto con la trasmissione in corrente alternata.

3. *Analisi del sistema elettrico.*

Modellistica dei componenti: generatori, carichi, linee, trasformatori.

Modellistica del sistema: matrice delle ammettenze nodali, equazioni di *load-flow*, vincoli e obiettivi funzionali. Metodi di soluzione.

4. Gestione del sistema elettrico.

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

Strategie di gestione ottimale. Dispacciamento ottimale delle potenze attive. Analisi di sensitività.

Sicurezza funzionale. Regolazione della tensione.

5. Analisi delle condizioni di guasto.

Modellistica dei componenti in condizioni di guasto. Contributi alle correnti di cortocircuito.

Matrice delle impedenze nodali. Analisi del corto-circuito trifase. Analisi dei guasti dissimmetrici.

6. Analisi e progettazione di sistemi di distribuzione.

Sistemi di distribuzione. Schemi distributivi e livelli di tensione.

Caratteristiche delle utenze e diagrammi di carico.

Metodi di analisi. Calcolo delle correnti di impiego e delle cadute di tensione.

Progetto di un impianto elettrico: criteri, scelta dei componenti, verifiche, dimensionamenti.

Valutazioni economiche e funzionali.

Esempi realizzativi di impianti elettrici civili, industriali e per applicazioni particolari (illuminazione, controllo del traffico, ferrovie, aeroporti).

La professione dell'ingegnere impiantista.

Applicazioni innovative dell'elettronica e dell'informatica all'impiantistica elettrica.

ESERCITAZIONI

Gli allievi saranno addestrati ai metodi di soluzione basati sull'uso del PC utilizzando *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 tecniche 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 uno *stage* fuori sede della durata di due giorni presso impianti dell'ENEL.

BIBLIOGRAFIA

Testi ausiliari:

Cataliotti, *Impianti elettrici*, Flaccovio.

Elgerd, *Electric energy systems theory : an introduction*; McGraw-Hill.

ESAME

L'esame è diviso in due parti sostenibili separatamente:

1. esame orale sugli argomenti teorici;
2. discussione dell'elaborato progettuale.

H0391 Azionamenti elettrici per l'automazione

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8+8 (ore settimanali)

Docente: Alfredo Vagati (collab.: Antonio Fratta)

Scopo del corso è quello di descrivere gli attuali azionamenti industriali impiegati nel campo dell'automazione ad alte prestazioni (macchine utensili, robotica). Vengono trattate le problematiche sia di macchina sia di controllo di azionamento, con un orientamento il più possibile di tipo applicativo.

REQUISITI

Il corso, di carattere interdisciplinare, è destinato ad allievi informatici, elettronici, elettrici e meccanici. Sono richieste le nozioni fondamentali di elettrotecnica e di controlli automatici. Pur non essendo strettamente necessaria, è consigliabile per gli allievi elettronici ed automatici la frequentazione del corso di *Macchine elettriche*.

PROGRAMMA

1. *Introduzione al corso.* [4 ore]

Elementi caratteristici di un azionamento. Tipologie applicative di azionamenti. Azionamenti ad alte prestazioni dinamiche. Azionamenti tipo asse e tipo mandrino (deflussaggio). Controllo di coppia e controllo di azionamento.

2. *Controllo di azionamento.* [18 ore]

Caso esemplificativo del motore in corrente continua. Struttura *cascade control* e sue motivazioni. Limitazioni fisiche (saturazioni). Compensazione PI ed effetto coda. Fenomeno della *wind-up*. Effetto dinamico delle risonanze torsionali lato tachimetrico e lato motore. Effetto del *ripple* di misura della velocità. Impiego di osservatori di carico e/o di filtraggio del *ripple* tachimetrico.

3. *Motori in c.c. ad alte prestazioni.* [6 ore]

Servomotori a magneti permanenti. Caratteristiche dei moderni materiali. Strutture costruttive diverse e loro impatto sui parametri di controllo. Modello termico del motore in c.c. Valutazione della temperatura massima durante cicli di sovraccarico.

4. *Amplificatori switching (chopper) per il comando di servomotori in c.c.* [8 ore]

Quadranti di funzionamento e tecniche di comando. Tecniche di modulazione. Confronto tra tecniche di modulazione sulla base dell'ondulazione di corrente. Perdite nel ferro indotte dalla modulazione. Dimensionamento energetico del *bus* di alimentazione. *Chopper*, *inverter*, *inverter* modulato: estensione al comando di motori in c.a.

5. *Analisi della commutazione elettronica.* [12 ore]

Commutazione non assistita (monoquadrante). Impatto della non idealità del diodo di ricircolo, modello del diodo. Commutazione assistita al *turn-on* e al *turn-off* (monoquadrante). Commutazioni (assistite) di una gamba di *inverter*. Specificità di diversi tipi di componenti attivi. Cenni sui circuiti di pilotaggio e di protezione.

6. *Servomotori brushless.* [15 ore]

Motivazioni tecnologiche e principi di funzionamento. Generalità costruttive. Modellistica, equazioni di macchina, bilancio energetico. *Brushless* trapezio isotropo. Caratteristiche costruttive. Alimentazione in tensione e corrente. Definizione della corrente equivalente e controllo PWM. Funzionamento da motore e generatore, limitazione di tensione, ondulazione di coppia. Tachimetro *brushless*.

7. *Servomotore brushless sinusoidale.* [15 ore]

Caratteristiche costruttive. Deduzione delle equazioni trasformate in assi rotanti (d, q). Controllo a $i_d = 0$ (caso isotropo). Effetto sul controllo dell'eventuale anisotropia rotorica. Controllo vettoriale di corrente. Limitazione di tensione. Tecniche di modulazione per il controllo vettoriale. *Resolver* e relativa demodulazione.

8. *Controllo a orientamento di campo del motore a induzione.* [8 ore]

Deduzione delle equazioni in assi generici. Principio del controllo a orientamento di campo. Controllo diretto e indiretto, impiego di osservatori di flusso. Implementazione del controllo vettoriale e prerogative di deflussaggio.

9. *Motori sincroni a riluttanza.* [6 ore]

Particolarità costruttive. Equazioni in assi d, q . Controllo di corrente in assi fissi ed in assi rotanti, prestazioni caratteristiche.

10. Confronto applicativo tra le diverse motorizzazioni in corrente alternata: densità di coppia, deflussibilità, costo. [4 ore]

LABORATORIO

Verranno effettuate dimostrazioni pratiche del funzionamento di azionamenti in corrente alternata per asse e per mandrino. Saranno utilizzati azionamento impiegati industrialmente, con visualizzazione dei principali segnali di stato.

BIBLIOGRAFIA. Essendo il corso di carattere decisamente applicativo, non è individuabile alcun testo che possa essere ritenuto di riferimento. Verranno fornite indicazioni per eventuali testi ausiliari, a seconda delle esigenze specifiche.

H4980 Sistemi elettrici per l'energia

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 70+40 (nell'intero periodo)

Docente: Enrico Carpaneto

Il corso ha lo scopo di fornire le nozioni fondamentali per l'analisi e per la comprensione dei fenomeni dinamici nei sistemi elettrici per l'energia. In particolare, vengono trattati approfonditamente i sistemi di controllo della tensione e della frequenza e il comportamento dinamico in condizioni di guasto. Gli argomenti sono sviluppati con un'impostazione applicativa orientata alle problematiche del sistema elettrico nazionale, dei sistemi elettrici industriali e dell'autoproduzione.

REQUISITI. *Macchine elettriche, Impianti elettrici I e 2, Controlli automatici.*

PROGRAMMA

1. *Introduzione.* [4 ore]

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

2. *Regolazione della frequenza e delle potenze attive.* [20 ore]

Generalità sulla regolazione della frequenza.

Regolazione della velocità di un gruppo in funzionamento isolato.

Modelli dinamici dei gruppi idroelettrici e termoelettrici.

Regolazione primaria della frequenza.

Regolazione secondaria della frequenza.

Regolazione della frequenza e delle potenze esportate in un sistema di aree interconnesse.

Grandi perturbazioni e controllo in emergenza.

3. *Comportamento dinamico della macchina sincrona.* [14 ore]

Modello dinamico della macchina sincrona: equazioni elettriche, magnetiche e meccaniche. Trasformazione di Park. Circuiti equivalenti e parametri dinamici (reattanze e costanti di tempo).

Comportamento in corto-circuito della macchina sincrona.

Modelli dinamici semplificati per lo studio dei transitori elettromeccanici.

Calcoli di corto-circuito: circuiti equivalenti approssimati, impedenze di sequenza inversa e omopolare.

4. *Comportamento dinamico del motore asincrono.* [10 ore]

Modello dinamico del motore asincrono: equazioni elettriche, magnetiche e meccaniche. Trasformazione di Park. Circuiti equivalenti e parametri dinamici.

Comportamento in corto-circuito del motore asincrono. Calcoli di corto-circuito, circuiti equivalenti approssimati.

Aspetti applicativi: schemi di comando e protezione, problemi di avviamento e di stabilità.

5. *Regolazione della tensione.* [12 ore]

Aspetti fondamentali della trasmissione e della distribuzione dell'energia elettrica. Metodi di regolazione della tensione.

Sistemi di eccitazione delle macchine sincrone. Componenti per la regolazione della tensione: alternatori e compensatori sincroni, induttori e condensatori, compensatori statici, trasformatori.

Rifasamento: aspetti tecnici ed economici.

Architettura complessiva della regolazione della tensione.

6. *Stabilità.* [10 ore]

Cenni sulla stabilità dei sistemi non-lineari, stabilità per piccole e grandi perturbazioni.

Studio della stabilità transitoria della macchina sincrona con il criterio delle aree.

Provvedimenti per migliorare la stabilità transitoria.

Cenni sullo studio dei transitori elettromeccanici nei sistemi multimacchine.

ESERCITAZIONI

Gli studenti, suddivisi in piccoli gruppi, svolgono le esercitazioni nel laboratorio informatico del Dipartimento con l'assistenza del docente. Le esercitazioni consistono nella simulazione, su *personal computer* e con programmi già sviluppati, del comportamento dinamico dei componenti e dei sistemi di controllo illustrati nelle lezioni in aula.

Le attività del corso sono integrate da due visite tecniche a impianti dell'ENEL e da seminari su argomenti applicativi di particolare rilevanza e attualità.

BIBLIOGRAFIA

Testi ausiliari:

Iliceto, *Impianti elettrici*, CEDAM, Padova.

Marconato, *Sistemi elettrici di potenza*, CLUP, Milano.

Saccomanno, *Sistemi elettrici per l'energia: analisi e controllo*, UTET, Torino.

ESAME

L'esame finale è orale, riguarda gli argomenti svolti nelle lezioni e comprende la discussione di un'esercitazione scelta dallo studente. È prevista la possibilità di sostenere una prova scritta di esonero a metà corso con modalità concordate con gli studenti.

Programmi degli insegnamenti

(insegnamenti d'orientamento)

I programmi sono riportati in ordine alfabetico di titolo. Al termine del volume (p. 117) le tavole alfabetiche generali, per nomi dei docenti e per titoli degli insegnamenti.

H0290 Applicazioni industriali elettriche

Anno/periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 78+16+10 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Marialuisa Tosoni

Il corso si propone di studiare le problematiche relative di progetto di circuiti logici per il comando ed il controllo di sistemi elettromeccanici. Vengono richiamati gli elementi di calcolo binario e di algebra booleana necessari alla trattazione sia dei sistemi logici non programmabili sia dei sistemi logici basati su microprocessori microcontrollori e DSP.

REQUISITI. *Fondamenti di informatica, Calcolo numerico, Elettronica applicata.*

PROGRAMMA

La prima parte del corso comprende i richiami delle nozioni fondamentali necessari alla progettazione di sistemi logici i sistemi di numerazione, come i sistemi di numerazione, l'algebra di Boole e i metodi di minimizzazione delle funzioni logiche: *sistemi di numerazione, codici numerici, algebra di Boole, metodi di minimizzazione.*

La seconda parte del corso tratta dell'analisi e della progettazione di sistemi logici non programmabili, nati cioè per risolvere un ben definito problema. I temi trattati possono essere suddivisi in tre capitoli: reti combinatorie, reti sequenziali, *flip-flop.*

Reti combinatorie, ossia reti che implementano funzioni dipendenti solo dallo stato attuale degli ingressi e ne presenta le tecniche di base. Un'estesa trattazione delle porte AND e OR consente l'analisi e la sintesi delle equazioni logiche booleane. Seguono le tecniche di implementazione di circuiti logici con porte NAND e NOR.

Analisi di reti logiche combinatorie. Sintesi di reti logiche.

Reti sequenziali, ossia reti che implementano funzioni dipendenti non solo dallo stato attuale degli ingressi, ma anche dalle sequenze degli eventi precedenti.

Analisi di reti sequenziali. Sintesi di reti sequenziali. Reti sequenziali ad impulsi.

Flip-flop. I *flip-flop* possono essere considerati i primi elementi di memoria il cui uso rende molto più affidabili i circuiti sequenziali sincroni. Dopo la descrizione di vari tipi di *flip-flop*, vengono presentate alcune applicazioni di interesse generale.

Flip-flop D, T, S-R, J-K. Programmazione di flip-flop. Contatori a flip-flop. Registri di scorrimento.

La successiva parte del corso è finalizzata al progetto formale di sistemi di controllo digitale programmabili. Dopo una descrizione generale dei concetti basilari, si passa

alla descrizione dell'architettura di diversi dispositivi atti all'implementazione di controlli multiuso per sistemi elettromeccanici ed in particolare: PLA (*programmable logic array*), microprocessore a 8 *bit*, DSP a 16 *bit* a virgola fissa, microcontrollore a 32 *bit*. Il contenuto di quest'ultima parte del corso può cambiare da un anno all'altro per mantenersi aggiornato con la continua evoluzione tecnologica del settore.

Organizzazione di un generico sistema

Microprocessori orientati alla memoria. Microprocessori orientati ai registri. Registri interni. Unità operativa. Unità di controllo. Unità periferiche. Memorie di programma e di lavoro. Architettura di Von Neumann. Architettura Harvard. Generalità sul linguaggio Assembly.

PLA. Uso e descrizione dei dispositivi EPXX Altera. Programmi di sviluppo *software*.

CPU Z80. Architettura. Modalità di funzionamento. Temporizzazione dell'esecuzione delle istruzioni. *Set* di istruzioni. Gestione delle interruzioni.

Periferiche della famiglia Z80. PIO, *parallel input-output*. DMA, *direct access memory*.

DSP. Architettura. Modalità di funzionamento. Temporizzazione dell'esecuzione delle istruzioni. *Set* di istruzioni. Gestione delle interruzioni.

Microcontroller MC68332. Architettura. Modalità di funzionamento. Temporizzazione dell'esecuzione delle istruzioni. *Set* di istruzioni. Gestione delle interruzioni.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni relative alla logica programmata sono costituite da esercizi svolti dagli allievi. Le esercitazioni relative alla logica programmabile sono costituite dalla progettazione di semplici sistemi di controllo, basati sui dispositivi presi in esame a lezione, con i relativi organi di *input-output*.

LABORATORIO

Le esercitazioni di laboratorio comprendono l'eventuale realizzazione dei sistemi progettati durante le esercitazioni in aula. Le esercitazioni al calcolatore comprendono l'uso di pacchetti *software* atti a sviluppare, debuggare e simulare i programmi di controllo. Infine, mediante l'uso di sistemi di sviluppo o di *evaluation board* si arriva al *test* sia del *software* che dello *hardware* realizzati.

BIBLIOGRAFIA

W. Wickes, *Logic design with integrated circuits*, Wiley, New York.

Rubino, Zaccaria, *Il nuovo manuale Z80*, Il Rostro.

Altro materiale verrà fornito agli allievi dal docente.

ESAME. L'esame è costituito da un colloquio sugli argomenti svolti a lezione, integrato da svolgimento di esercizi analoghi a quelli delle esercitazioni ed un eventuale esame e discussione dei sistemi realizzati.

H0350 Automazione a fluido

Anno: periodo X: 1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Guido Belforte

Il corso ha lo scopo di far conoscere i diversi sistemi di automazione a fluido attualmente utilizzati 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 e di modellazione dei sistemi pneumatici.

REQUISITI

Nozioni acquisite con le frequenze del corso di *Meccanica applicata alle macchine*.

PROGRAMMA

Struttura dei sistemi automatici. Proprietà dei sistemi pneumatici, micropneumatici, fluidici, oleodinamici. Cilindri a semplice e doppio effetto. Valvole a due, tre, quattro vie; comandi, funzionamento e simbologia delle valvole. Valvole ausiliarie dei circuiti pneumatici (OR, AND, sequenza, di non ritorno, temporizzazione, regolatori di flusso, scarico rapido, economizzatrice, ecc). Proprietà delle valvole pneumatiche. [8 ore]

Principi di algebra logica. Funzioni combinatorie e sequenziali. Operatori logici e relativa simbologia ISO-IEC. Tipi di memorie. Elementi pneumologici. [4 ore]

Elementi micropneumatici Samsomatic, Dreloba, Selp. Getti e principi di fluidica. Elementi fluidici digitali e proporzionali: funzionamento e caratteristiche operative. [8 ore]

Sistemi a tempo e ad eventi. Diagrammi funzionali: movimenti – fasi, Grafcet, Gemma. Tecniche di controllo digitali a logica cablata e programmabili. Elementi con memorie pneumatiche, con memorie ausiliarie, contatori binari, programmatori a fase, moduli sequenziatori. Comandi con relè: funzioni logiche combinatorie e sequenziali; tecnica del Grafcet contratto. Controllori logici programmabili (PLC): proprietà generali e linguaggi di programmazioni (lista di istruzioni, sequenziale, *ladder*). Criteri di scelta tra sistemi con sequenziatori, relè, PLC. [14 ore]

Elementi di interfaccia, elettrovalvole e sistemi elettropneumatici digitali e proporzionali. Sensori ed elementi di fine corsa, elementi periferici. [6 ore]

Cilindri specializzati e applicazioni dei sistemi pneumatici. [4 ore]

Modellazione e comportamento dinamico dei sistemi pneumatici: resistenze, capacità, induttanze. Sistemi a parametri concentrati e distribuiti, propagazione dei segnali pneumatici. Esempi di modellazione di circuiti pneumatici. [6 ore]

Struttura degli impianti pneumatici, alimentazione degli impianti. trattamento dell'aria, affidabilità, aspetti energetici, ecologici e di sicurezza. [6 ore]

LABORATORIO

Viene svolto un ciclo di 12 esercitazioni di laboratorio della durata ognuno di 4 ore.

Durante ogni esercitazione vengono sviluppate una o più gruppi di prove.

Le esercitazioni devono essere svolte da singole squadre di studenti che seguono cia-

scuna un proprio percorso con assistenza in laboratorio.

Il programma dettagliato delle esercitazioni sarà distribuito ad ogni singola squadra.

La presenza alle esercitazioni è obbligatoria e condiziona la firma di frequenza.

Di tutte le esercitazioni deve essere preparata una relazione che viene presentata quando si effettua l'esame.

La relazione comprende un testo che descrive gli scopi, le attrezzature usate, le modalità di prova, ecc. e contiene tutti i dati sperimentali misurati ed elaborati, e una serie di tavole.

Il testo può essere preparato singolarmente, da ogni studente, o dall'intera squadra, per cui può essere disponibile un unico testo per ogni singola squadra.

Le tavole illustranti gli schemi delle prove e i diagrammi riassuntivi devono essere singoli per ogni studente. Dette tavole possono essere preparate:

- a) completando le tavole allegate al testo di esercitazioni;
- b) preparando interamente dette tavole su carta millimetrata (non sono ammesse fotocopie di tavole del testo).

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

G. Belforte, N. D'Alfio, *Applicazioni e prove dell'automazione a fluido*, Giorgio, Torino, 2. ed., 1992.

G. Belforte, *Pneumatica*, Tecniche Nuove, Milano, 1987.

Testo ausiliario:

D. Bouteille, G. Belforte, *Automazione flessibile elettropneumatica e pneumatica*, Tecniche Nuove, Milano, 1987.

ESAME. L'esame si svolge in forma orale sull'intero programma del corso (lezione ed esercitazione), con discussione, in particolare, di quanto svolto in laboratorio.

H0370 Automazione industriale

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 10 (ore settimanali)

Docente: Francesco Donati

Il corso intende avviare l'allievo alla progettazione di sistemi per l'automazione industriale. Vengono quindi analizzate le fasi progettative, dalla specifica dei requisiti all'analisi di fattibilità, allo sviluppo della concezione di sistema, alla progettazione ed al collaudo. Particolare attenzione viene data alla progettazione della logica di controllo.

REQUISITI

Il corso presuppone le conoscenze di base necessarie alla definizione dei modelli matematici di sistemi fisici e di impianti impiegati nell'industria. Si presuppone pure un'adeguata conoscenza dei metodi di analisi e trattamento dei segnali, ivi compresi quelli aleatori.

PROGRAMMA

1. *La modellizzazione matematica come strumento base della conoscenza.*

I modelli matematici. Criteri e valutazione dell'approssimazione: la misura in norma. L'approccio a due modelli con differente livello di approssimazione.

2. *L'organizzazione di un sistema di controllo automatico digitale nell'ambito di una struttura gerarchica.*

Il generatore dei riferimenti. L'osservatore. Il controllo di catena chiusa.

3. *La specifica dei requisiti di sistema.*

4. *La concezione del sistema di automazione.*

L'architettura costruttiva. L'organizzazione logica in sottosistemi e in funzioni. La specifica dei requisiti relativi ai sottosistemi.

5. *La progettazione della logica di controllo.*

Il progetto del generatore dei riferimenti. Il progetto dell'osservatore. Il progetto del controllo di catena chiusa.

6. *La simulazione numerica come strumento di progetto.*

7. *L'affidabilità ed il comportamento in condizioni di guasto.*

Nozioni elementari di affidabilità. L'autodiagnostica. Il degradamento controllato delle prestazioni in condizioni di guasto.

8. *Sviluppo di casi tipici.*

I casi trattati saranno variabili di anno in anno e la loro trattazione occuperà un tempo pari al 40 % del corso.

BIBLIOGRAFIA. Sono in preparazione le dispense del corso.

ESAME. L'esame consiste in una prova scritta sullo sviluppo di un piccolo progetto, seguita immediatamente dalla prova orale.

H0400 Azionamenti per trazione elettrica

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6 (ore settimanali)

Docente: Gaetano Pessina

Il corso ha come scopo la presentazione e l'approfondimento delle tematiche elettriche inerenti alle strutture dei sistemi di azionamento e controllo dei veicoli a trazione elettrica, a guida vincolata ed a guida libera. Sono esaminate in particolare applicazioni ferroviarie, tradizionali ed innovative; applicazioni di trasporto urbano tradizionali ed innovative, sia per tipo di trazione e sostentamento, quanto per tipo di azionamento, sino alle applicazioni a guida automatizzata.

REQUISITI. Possono frequentare il corso tutti gli allievi ingegneri con conoscenze di *Elettrotecnica* ed *Applicazioni industriali dell'elettrotecnica*.

PROGRAMMA

1. Trazione su rotaia con linea di contatto superiore a 3 kV; applicazioni ferroviarie europee con distribuzione della linea di contatto in AC e DC.

2. 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, sia per alimentazioni in DC che AC con trasformatore a bordo del veicolo.

3. Applicazioni all'alta velocità: esame delle realizzazioni europee, architetture di azionamento, sistemi di frenatura.

4. Trazione su rotaia con linea di contatto inferiore ad 1 kV; applicazioni 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 sincro ad induttore distribuito. Verrà trattato il problema della frenatura elettrica con recupero di energia in rete e con dissipazione a bordo.

5. 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.

6. Cenni sulla propulsione navale elettrica, con esame delle principali applicazioni in campo militare e civile.

ESERCITAZIONI

Vengono, durante il corso, sviluppate dagli allievi, personalmente, due tesine: sono vere e proprie elaborazioni di studi di progetto o di ricerca su argomenti di interesse di settore sviluppati su documentazione aggiornata, tratta da riviste e congressi, fornite dal docente.

BIBLIOGRAFIA. Appunti dal testo delle lezioni del corso (in via di pubblicazione).

ESAME. L'esame si svolge sulla discussione delle tesine sviluppate nelle esercitazioni e sugli argomenti trattati nel corso. Non è prevista prova di esame scritta.

H0450 Biomeccanica

Anno:periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Cristina Bignardi

Il corso ha lo scopo di fornire agli allievi una panoramica delle problematiche della biomeccanica e delle principali metodologie numeriche e sperimentali utilizzate in questa disciplina. Vengono approfondite tematiche riguardanti i materiali biologici e di sostituzione e il comportamento del corpo umano in particolare in risposta alle azioni dinamiche.

REQUISITI. Concetti fondamentali di *Meccanica razionale*, *Meccanica applicata alle macchine*, *Scienza delle costruzioni* (a coloro che non hanno frequentato tali corsi verrà fornito materiale didattico all'inizio del corso).

PROGRAMMA

Introduzione alla biomeccanica. [8 ore]

Origini e problematiche della biomeccanica. Richiami di fisiologia.

Metodi sperimentali utilizzati in biomeccanica. [6 ore]

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

Materiali. [28 ore]

Caratterizzazione di materiali biologici (osso, muscoli, cartilagine, pelle). Biomateriali: caratteristiche, biocompatibilità, problematiche.

Biomeccanica cardiocircolatoria. [4 ore]

Resistenza del corpo umano alle azioni dinamiche. [4 ore]

Interazione uomo - veicolo. [4 ore]

Modelli matematici e modelli sperimentali. Studio in condizioni normali per la valutazione del *comfort*. Studio in condizioni d'urto per la valutazione del danno.

Analisi del movimento. [8 ore]

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

ESERCITAZIONI

È prevista la suddivisione in squadre per la realizzazione di relazioni inerenti le esercitazioni condotte in laboratorio e per la stesura di una tesina sulla base di materiale bibliografico fornito dal docente.

Caratteristiche meccaniche osso. [6 ore]

Muscoli. [2 ore]

Modelli segmentali apparato locomotore e analisi del movimento. [5 ore]

Biomeccanica cardiocircolatoria. [2 ore]

Biomateriali. [4 ore]

Visita al Centro Sicurezza Fiat. [4 ore]

Svolgimento tesine. [10 ore]

BIBLIOGRAFIA. Dispense fornite dal docente.

ESAME. L'esame consiste in una prova scritta ed una verifica orale. La valutazione finale tiene conto anche della partecipazione dimostrata, della qualità delle relazioni relative alle esercitazioni e della tesina.

H0850 Controllo dei processi

Anno: periodo X: 1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali); 60+20+20 (nell'intero periodo)

Docente: Donato Carlucci

Il corso si propone di illustrare le principali metodologie di progetto del controllo dei processi con particolare riferimento ai processi industriali. Nel corso vengono presentati i metodi di sintesi del controllo con particolare enfasi per quelli che si prestano per una progettazione interattiva, assistita dal calcolatore. Ampio spazio viene dedicato alle moderne teorie di controllo per sistemi reali, cioè per sistemi in presenza di incertezze dovute a conoscenze sempre imperfette sia del sistema fisico da controllare sia

dell'ambiente in cui esso opera. A questo scopo, la teoria rigorosa del controllo viene applicata a numerosi esempi di applicazione in prevalenza di carattere industriale dove il progetto viene sviluppato secondo teoria e nei minimi dettagli: dalla scelta dei trasduttori e degli attuatori, alla modellistica del processo, alla individuazione degli aspetti energetici dominanti, al progetto propriamente detto, fino alla valutazione delle prestazioni ed al bilancio tra costi e benefici.

REQUISITI. *Controlli automatici, Teoria dei sistemi.*

PROGRAMMA

1. Fondamenti di teoria del controllo ottimale per sistemi lineari con funzionale di costo quadratico e disturbi a statistica gaussiana. Deduzione dello schema generale del controllo basato sull'uso di uno stimatore dello stato e del controllore. Generalizzazione dello schema per controlli basati su criteri di soddisfacimento di specifiche diverse da quelle ottimali.
2. Analisi di sistemi lineari multivariabili nel dominio della frequenza. Principali proprietà della matrice di trasferimento, zeri e poli: definizioni e significato fisico.
3. Differenti espressioni della matrice di trasferimento in catena chiusa per i sistemi multivariabili. Matrice di trasferimento d'anello.
4. Stabilità di un sistema reazionato e generalizzazione del teorema di Nyquist ai sistemi multivariabili.
5. Tecniche di progetto del controllo nel dominio della frequenza per sistemi multivariabili.
6. Teoria del piazzamento dei poli in catena chiusa per sistemi multivariabili. Criteri generali di esistenza della soluzione.
7. Algoritmi per il piazzamento dei poli mediante reazione sullo stato del sistema.
8. Uso di reazione sull'uscita e progetto assistito dal calcolatore del compensatore dinamico.
9. Le strutture di controllo più diffuse nel campo industriale: filtri, compensatore PID. Trattamento dell'incertezza e tecniche di progetto del controllo per sistemi incerti.
10. Valutazione dell'affidabilità di un sistema di controllo: criteri generali e metodi di simulazione.
11. Validazione del progetto, valutazione di costi (*hardware e software*) e dei benefici.

ESERCITAZIONI

1. Modellistica dettagliata di sistemi elettromeccanici industriali, satelliti artificiali, impianti termoelettrici.
2. Uso di modelli semplificati per il progetto del controllo. Applicazioni delle differenti tecniche di progetto. Trattamento dell'incertezza tra sistema reale e modello usato per il progetto.
3. Trattazione dettagliata di numerosi esempi di progetto di sistemi reali.

LABORATORIO

1. Progetto del controllo di un sistema elettromeccanico e simulazione al calcolatore delle prestazioni del sistema.
2. Progetto del controllo di velocità angolare e di orientamento di un satellite, simulazione al calcolatore e valutazione della precisione sull'orientamento.
3. Progetto del controllo di un sistema di prova per motori a combustione interna. Simulazione al calcolatore.
4. Progetto del controllo di un *robot*. Simulazione al calcolatore.
5. Localizzazione e controllo mediante semafori stradali di un veicolo viaggiante su una rete viaria conosciuta. Simulazione al calcolatore.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

Sono a disposizione appunti del corso, lezioni ed esercitazioni, scritti dal docente e forniti su supporto magnetico.

Testi ausiliari:

Tibaldi, *Note introduttive a MATLAB e Control System Toolbox*, Progetto Leonardo, Bologna.

Desoer, Vidyasagar, *Feedback systems : input-output properties*, Academic Press.

Singh, Tidli, *Systems : decomposition, optimization and control*.

ESAME. L'esame consiste in una prova scritta ed in una prova orale nella quale viene fra l'altro richiesta la discussione dei progetti sviluppati durante il corso.

H0870 Controllo digitale

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); 75+25 (nell'intero periodo)

Docente: Maurizio Vallauri

Il corso intende presentare i fondamenti teorici e le principali metodologie di analisi e sintesi dei sistemi di controllo digitali. Si articola secondo i seguenti capitoli: descrizione matematica dei segnali e sistemi campionati; stabilità dei sistemi campionati; controllo *dead-beat* per sistemi SISO; sistemi campionati lineari nello spazio di stato e metodi di progetto del regolatore; regolazioni adattive: regolatori adattivi con modello di riferimento (MRAS), regolatori adattivi con modello di identificazione (MIAS).

REQUISITI

Nozioni propedeutiche indispensabili: teoria dei sistemi, controlli automatici generali.

PROGRAMMA

Richiami di concetti fondamentali di teoria dei sistemi.

Sistemi tempo-discreti e loro rappresentazione I/O e nello spazio di stato. Descrizione matematica di segnali e sistemi campionati.

La trasformazione z.

Definizioni e principali regole di trasformazione diretta e inversa, con applicazioni.

Descrizione di sistemi campionati mediante la trasformazione z.

Struttura e diagrammi a blocchi di regolazioni campionate. La funzione di trasferimento z. Descrizione di una regolazione campionata mediante la trasformazione z.

Stabilità.

Definizione di stabilità. Criteri fondamentali di stabilità. Stabilità fra gli istanti di campionamento. Criteri algebrici di stabilità.

Progetto per regolazione con tempo di assestamento finito ("dead-beat").

Fondamenti nel dominio tempo. Derivazione e soluzione delle equazioni di sintesi. Calcolo del regolatore.

Sistemi campionati lineari nello spazio di stato.

Le equazioni di stato di un sistema campionato. Soluzione della equazione di stato alle

differenze, omogenea; stabilità dei sistemi campionati nello spazio di stato. Applicazione della trasformazione z alle equazioni di stato di un sistema campionato. Struttura di regolazioni campionate nello spazio di stato. Progetto per tempo di assestamento finito e controllabilità. Progetto mediante assegnazione di autovalori (poli). Regolazione modale. Osservatori dello stato e osservabilità. Il teorema di separazione.

Regolazioni adattive.

Regolatori adattivi con modello di riferimento (MRAS): ottimizzazione locale di parametri; progetto di Ljapunov; definizioni, concetto fondamentali di iperstabilità e progetto relativo.

Regolatori adattivi con modello di identificazione (MIAS): identificazione *on-line* di processi dinamici e segnali stocastici, e dell'anello di regolazione chiuso. Regolatori adattivi nei parametri.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nella discussione, in aula, di problemi di carattere applicativo riguardanti gli argomenti del corso, risolti o illustrati dopo essere stati assegnati per lo svolgimento a casa, e altresì nella esposizione di argomenti di carattere matematico complementari alla materia del corso, quali taluni capitoli della teoria delle matrici.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

All'inizio del corso viene messa a disposizione degli allievi una copia riproducibile di note manoscritte che coprono quasi integralmente il programma del corso.

Testi ausiliari:

Per eventuali approfondimenti possono essere utilmente consultati:

O. Föllinger, *Lineare Abtastsysteme*, 4. Aufl., Oldenbourg, Munchen, Wien, 1990.

R. Isermann, *Digitale Regelsysteme*, 2. Aufl., Springer, Berlin, 1987.

V. Strojic, *State space theory of discrete linear control*, Wiley, New York, 1981.

M. Athans [et al.], *Systems, networks, and computation: multivariable methods*, McGraw-Hill, New York, 1974.

Altri riferimenti bibliografici vengono forniti, quando del caso, durante il corso.

ESAME

Gli esami consistono in una prova scritta – un tema di carattere teorico da sviluppare senza materiale di riferimento e, immediatamente dopo, uno o più problemi che possono essere svolti con libera consultazione di libri, note ecc. – e in un eventuale successivo accertamento orale, se il candidato lo desidera.

H0890 Conversione statica dell'energia elettrica

Anno/periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8+2 (ore settimanali); 104+16 (nell'intero periodo)

Docente: Francesco Profumo

Nella prima parte del corso, dopo una introduzione sui componenti elettronici di potenza e sulle principali applicazioni industriali dei convertitori, vengono trattati i convertitori DC / DC, i convertitori DC / AC, gli alimentatori *switching*, i gruppi di continuità e le applicazioni industriali, domestiche e su rete di convertitori statici. Nella seconda parte del corso vengono presentate alcune applicazioni industriali in cui sono utilizzati i convertitori per gli azionamenti elettrici. In particolare saranno studiati gli

azionamenti per motori a corrente continua e gli azionamenti per motori ad induzione. Durante il corso sono programmate alcune visite presso aziende che producono azionamenti (o parti di essi) o ne sono utilizzatrici.

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

PROGRAMMA

Note introduttive. [4 ore]

Definizione di convertitore e degli elementi costituenti: componenti elettronici di potenza, strutture, controlli. Tipologie di convertitori AC / DC e AC / AC e principali campi di applicazione.

Componenti elettronici di potenza. [16 ore]

Diodi, SCR, GTO, BJT, MOSFET, IGBT.

Convertitori DC / DC. [8 ore]

Convertitori *buck*, convertitori *boost*, convertitori *buck-boost*, convertitore di Cuk, convertitori a ponte.

Convertitori DC / AC. [10 ore]

Inverters monofasi di tensione PWM e onda quadra, *inverters* trifasi di tensione PWM e onda quadra, *inverters* con regolazione di corrente.

Alimentatori DC switching. [8 ore]

Alimentatori lineari, convertitori *flyback*, convertitori *forward*, convertitori *push-pull*, convertitori a ponte, controllo degli alimentatori DC *switching*.

Gruppi di continuità. [4 ore]

Disturbi sulla rete, *power conditioners*, gruppi di continuità (raddrizzatore, batterie, *inverters*).

Applicazioni domestiche e industriali. [6 ore]

Applicazioni domestiche: riscaldamento, sistemi di condizionamento, lampade fluorescenti. Applicazioni industriali: riscaldamento ad induzione, saldatura elettrica.

Applicazioni sulle reti. [6 ore]

Trasmissione in corrente continua ad alta tensione, filtri per correnti armoniche, sistemi di compensazione della potenza reattiva, interconnessioni con sorgenti di energie rinnovabili.

Interfaccia tra reti e sistemi con PE. [2 ore]

Generazione di correnti armoniche, correnti armoniche e fattore di potenza, normativa, EMI.

Introduzione sugli azionamenti. [4 ore]

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.

Attuatori elettromeccanici. [8 ore]

Riepilogo delle nozioni basi dei motori a corrente continua e dei motori ad induzione con riferimento alle applicazioni a velocità variabile.

Strutture di controllo. [4 ore]

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.

Azionamenti DC. [10 ore]

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. [14 ore]

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.

BIBLIOGRAFIA

N. Mohan, T. Undeland, W.P. Robbins, *Power electronics : converters, applications and design*, Wiley, New York, 1995.

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

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

ESAME

L'esame sarà distribuito durante il semestre e sarà articolato in: 7 esercitazioni a casa che saranno corrette e valutate (25 % del voto finale), un primo compito a metà corso (35 % del voto finale) ed un secondo compito a fine corso (40 % del voto finale). In caso di esito globale positivo, l'esame si riterrà superato.

L'esame fuori dal semestre sarà articolato in una prova scritta (durata 3 ore) ed in una prova orale.

H1060 Costruzioni elettromeccaniche

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8 (ore settimanali)

Docente: Carlo Zimaglia

Il corso ha una sostanziale impronta elettrica, e sviluppa da un lato l'approfondimento sulle macchine elettriche, volto a individuarne gli aspetti che più strettamente si applicano ad esigenze applicative avanzate e si raccordano con le evoluzioni dei sistemi di alimentazione e controllo, e a delinearne coerentemente itinerari progettuali e criteri costruttivi; d'altro lato, costituisce un ampliamento su strutture e tipologie che, al di fuori degli attuali corsi base sulle macchine elettriche, e solo parzialmente recepiti in taluni corsi specialistici di azionamenti o controlli, hanno peraltro oggi ruoli di sostanziale importanza nel panorama elettromeccanico. In accordo con questa impostazione l'interesse prevalente è portato sul macchinario industriale.

REQUISITI. *Elettrotecnica 1, Macchine elettriche.*

PROGRAMMA

1. *Attualità e prospettive dell'elettromeccanica.* [35 ore]

- 1.1 Trasformatori (Strutture e modelli. Autotrasformatori. Impedenze e circuiti di sequenz. Connessioni e implicazioni relative. Trasitori).
- 1.2 Problematiche generali delle macchine rotanti (Macchine magneticamente bilaterali, a struttura asincrona o sincrona, con e senza commutazione. Macchine a struttura sincrona magneticamente unilaterali, con e senza commutazione).
- 1.3 Macchine sincrone (Reattanze inerenti i modelli a regime e in transitorio. Macchine monofasi. Evoluzione dei grandi generatori, soluzioni superconduttive. Sistemi di eccitazione. Motori sincroni industriali di vario tipo).
- 1.4 Approfondimento di tematiche sulle macchine a induzione in regime sinusoidale e sulle macchine a c.c. in regime non deformato.
- 1.5 Macchine a induzione in alimentazione statica (Interpretazioni funzionali in alimentazione *six-steps* e PWM. Controlli scalari e vettoriali. Sistemi statici di recupero dell'energia di scorrimento).
- 1.6 Macchine a c.c. in alimentazione statica (Convertitori a./c. e c./c. Ricadute funzionali e tipologie progettuali conseguenti. La soluzione duale di tipo *brushless*).

2. *Introduzione alle tematiche strutturali delle macchine elettriche.* [10 ore]

- 2.1 Materiali conduttori, isolanti, magnetici, magnetico-strutturali.
- 2.2 Tecnologie di attualità per il macchinario piccolo e medio. Organizzazione produttiva nella media e grande serie. Articolazione dei costi.
- 2.3 Affidabilità e gestione conservativa.
- 2.4 Perdite e rendimenti.
- 2.5 Normativa. Metodi di diagnosi e collaudo.

3. *Dimensionamento preliminare delle macchine elettriche.* [15 ore]

- 3.1 Individuazione degli input entro una specifica complessa di prestazioni e loro correzioni.
- 3.2 Classificazioni IP, IC, IM.
- 3.3 Attribuzione del volume attivo in funzione dell'input corretto di dimensionamento e altre scelte connesse; architettura delle serie di motori elettrici industriali.
- 3.4 Esempi di dimensionamento per motori asincroni e a c.c.

4. *Avvolgimenti distribuiti chiusi.* [15 ore]

- 4.1 Analisi strutturale degli avvolgimenti polifasi.
- 4.2 Sintesi e analisi di mono- e doppi strati polifasi e monofasi simmetrici.
- 4.3 Commutazioni di poli; spunti di generalizzazione sulle strutture polifasi aperte.
- 4.4 Interazioni ed effetti armonici nella macchina a induzione.

5. *Avvolgimenti distribuiti chiusi.* [15 ore]

- 5.1 Caratterizzazione strutturale degli avvolgimenti chiusi di ordine 2. Cicli delle f.e.m. e delle f.m.m., vie interne.
- 5.2 Avvolgimenti embricati e ondulati semplici. Ugualizzazione di 1. genere.
- 5.3 Aspetti costruttivi e di gestione operativa legati al sistema spazzole - commutatore.
- 5.4 Avvolgimenti multipli. Ugualizzazioni di 2. e 3. genere. Autougualizzazione.
- 5.5 Analisi della commutazione nei regimi continuo, deformato, alternativo monofase.
- 5.6 Avvolgimenti chiusi di ordine 3. Motori monofasi e trifasi a commutazione.

6. *Circuiti magnetici delle macchine rotanti.* [6 ore]

- 6.1 Distribuzione dell'induzione nelle varie parti.
- 6.2 Calcolo magnetico delle macchine a poli salienti, pseudoisotrope, isotrope.
- 6.3 Questioni costruttive e tecnologiche connesse alle strutture magnetiche.

7. *Esempi di progetto elettrico.* [10 ore]
Motore asincrono. Motore a c.c. Trasformatore.
8. *Argomenti complementari o monografici.* [6 ore]
Es.: *Layout* di un centro di produzione motori asincroni di serie.
Informazione su tematiche di base delle strutture a topologia non convenzionale.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

Note manoscritte fornite dal docente, integrate da documentazioni varie pure fornite dal docente.

Testi ausiliari:

Al termine del corso viene fornito un elenco, aggiornato annualmente, di un centinaio di testi specialistici attinenti direttamente o indirettamente con gli argomenti trattati, per approfondimenti o sviluppi autonomi successivi al corso e che questo abbia suggerito.

H1360 **Disciplina giuridica delle attività tecnico-ingegneristiche**

Anno: periodo X:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali); 52+10 (nell'intero periodo)

Docente: Luciano Orusa

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

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 edilizi 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.

H1760 Elettronica di potenza

Anno:periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4(2)+0(2) (ore settimanali)

Docente: Franco Maddaleno

Il corso ha lo scopo di presentare sia gli aspetti teorici (modelli dei circuiti), sia gli aspetti progettuali e realizzativi dei più importanti circuiti amplificatori e alimentatori utilizzati nei sistemi elettronici di piccola potenza ($< 1 \text{ kW}$).

La prima parte riguarda l'attuazione e l'amplificazione di potenza, con particolare enfasi sulla amplificazione a bassa frequenza, usata per il comando di piccoli attuatori. Nella seconda parte vengono esaminati gli alimentatori, visti dapprima come sistemi e poi più in dettaglio dal punto di vista circuitale. Vengono trattati i regolatori lineari e quelli a commutazione ad onda quadra (*switching*).

REQUISITI. Essendo questo un corso di tipo circuitale applicativo, è richiesta una forte propensione per gli argomenti di tipo circuitale e un'ottima conoscenza dei corsi circuitali precedenti.

PROGRAMMA

Cenni ai dispositivi di potenza. [2 lezioni]

Diodo, transistore bipolare, transistore ad effetto di campo (MOSFET).

Interruttori elettronici. [6 lezioni]

Interruttori elettronici (MOSFET, BJT), caratteristiche e uso. Amplificazione di segnali digitali per il comando di attuatori. Pilotaggio di carichi resistivi, induttivi e misti. Topologie *hi side* e *low side*.

Amplificatori lineari. [7 lezioni]

Retroazione e stabilizzazione. Tecniche di analisi, progetto e misura dell'anello di retroazione. Amplificatori in classe B, G e H, caratteristiche e rendimenti. Operazionali di potenza, caratteristiche e uso. Distorsioni e intermodulazioni. Amplificatori a commutazione (classe D). Problemi termici in regime transitorio.

Caratteristiche generali degli alimentatori. [2 lezioni]

Classificazione, specifiche, affidabilità, prestazioni, protezioni, *standard*, interferenze elettromagnetiche.

Alimentatori dissipativi. [2 lezioni]

Conversione AC / DC, stabilizzazione serie e parallelo. Regolatori integrati e discreti.

Analisi degli alimentatori ad onda quadra. [7 lezioni]

Configurazioni fondamentali: *buck*, *boost* e *buck-boost*. Caratteristiche stazionarie in modo continuo e discontinuo. Comportamento dinamico. Modelli linearizzati, media nello spazio degli stati, media degli interruttori, media del circuito. Linearizzazione. Controllo in *voltage mode* e *current mode*. Correttori di fattore di potenza.

Configurazioni derivate. [4 lezioni]

Analisi e dimensionamento di alimentatori *buck* derivati (*forward*, *push-pull*, mezzo ponte e ponte intero). Analisi e dimensionamento di *flyback*.

Componenti magnetici. [5 lezioni]

Progetto di induttori e trasformatori ad alta frequenza. Scelta del nucleo con il prodotto delle aree. Scelta dei conduttori. Valutazione delle perdite.

Circuiti ausiliari. [2 lezioni]

Reti *snubber*. Separazione galvanica. Alimentazioni ausiliarie. Sensori di corrente. Circuiti integrati di controllo.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni vertono sul progetto di semplici convertitori DC / DC e amplificatori, fino al dimensionamento completo, usando caratteristiche di componenti reali. I progetti così sviluppati sono poi simulati su calcolatore (LAIB).

LABORATORIO

In laboratorio sono misurate le caratteristiche di componenti e di circuiti visti a lezione. Le esercitazioni previste riguardano:

Misure sui diodi.

Misura del guadagno di anello.

Misure su *buck* e *buck boost* ad anello aperto.

Progetto, realizzazione e misura del controllo di *buck* e *buck boost*.

Misura su *forward* e *flyback* ad anello aperto.

Misura su *forward* e *flyback* ad anello chiuso.

BIBLIOGRAFIA

Non vi è un testo di riferimento. Il corso si basa su articoli indicati dal docente. Alcuni argomenti sono trattati su dispense disponibili in copisteria.

Testi ausiliari, per approfondimenti:

Bloom, Severns, *Modern DC – DC switchmode power conversion circuits*, Van Nostrand Reinhold.

Kassakian, Schlecht, Verghese, *Principles of power electronics*, Addison-Wesley

Pressman, *Switching power supply design*, McGraw-Hill.

Mitchell, *DC – DC switching regulator analysis*, McGraw-Hill.

ESAME

Nella sessione di esame vi è un appello ogni martedì. L'esame è costituito da uno scritto (prenotazione obbligatoria presso la segreteria di Elettronica) e da un orale.

Lo scritto consiste in un progetto simile a quelli eseguiti durante le esercitazioni in aula. La durata è di circa 3 ore.

È possibile presentarsi allo scritto e ritirarsi senza lasciare traccia. Durante lo scritto bisogna essere muniti di calcolatrice e documentazione distribuita durante il corso, è possibile consultare libri ed appunti, non è possibile consultare i compagni, pena l'annullamento dello scritto.

L'orale ha luogo subito dopo lo scritto, lo stesso giorno o i giorni immediatamente successivi, e verte per lo più su argomenti trattati a lezione o a esercitazione in aula e ha durata media di un'ora.

Di solito l'orale consiste di due domande la cui valutazione viene mediata con lo scritto (2/3 orale, 1/3 scritto). In caso di non superamento dell'orale il candidato può ripresentarsi all'esame (scritto e orale) al massimo solo una seconda volta nella stessa sessione, ad opportuna distanza di tempo suggerita dal docente, tipicamente maggiore o uguale a due settimane.

H1810 Energetica

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+3 (ore settimanali)

Docente: Michele Cali Quaglia

Il corso si propone di fornire gli strumenti teorici per poter sviluppare l'analisi energetica di tutti quei sistemi nei quali si operano trasformazioni tra le diverse forme di energia. La prima parte è dedicata al ripasso della termodinamica elementare ed all'approfondimento di alcuni argomenti particolari tra i quali l'analisi energetica dei sistemi dei processi con reazioni chimiche di combustione e della radiazione elettromagnetica. Nella seconda parte si studiano con la teoria della termoeconomia le implicazioni di tipo economico-finanziario della applicazione della termodinamica ai sistemi energetici. Nell'ultima parte si analizzano le fonti energetiche, gli usi finali dell'energia e si espone la situazione degli approvvigionamenti energetici per il mondo intero e per l'Italia.

REQUISITI. *Fisica tecnica, Macchine.*

PROGRAMMA

Cenni storici.

Breve storia della termodinamica e del concetto di energia.

Richiami di termodinamica.

Definizioni fondamentali. Grandezze primitive e derivate. Stato, processi e trasformazioni. Equazioni di stato. La temperatura. Lavoro. Calore e funzione di accumulazione. Equazioni di stato di alcuni sistemi semplici. Il gas ideale. I fluidi reali e la legge degli stati corrispondenti. I cambiamenti di stato. Rappresentazioni e diagrammi termodinamici. Le equazioni empiriche (Van der Waals, Dieterici, ecc.) e del viriale. Le equazioni per la rappresentazione dei fenomeni di attrito viscoso. Il lavoro. Il lavoro nei sistemi aperti. Il calore e la calorimetria. Definizioni ed equazioni fondamentali; le trasformazioni adiabatiche. Il primo principio della termodinamica. Enunciato. Energia interna ed entalpia. I sistemi aperti. Il secondo principio. Cenni storici. Il rendimento delle macchine termiche. Reversibilità. Teorema di Carnot e rendimento massimo di un ciclo. La disuguaglianza di Plank. Entropia. Cenni di termodinamica delle reazioni chimiche. Definizioni. Miscele di gas ideali. Le reazioni chimiche. Condizioni per l'equilibrio. La coordinata di reazione. Reazioni chimiche dei gas ideali. Le trasformazioni di Joule e di Joule-Thomson. Le equazioni fondamentali di conservazione in forma differenziale ed integrale. Massa, quantità di moto, energia ed entropia.

La teoria dell'exergia.

L'evoluzione dei sistemi verso l'equilibrio. La biosfera e lo stato di riferimento. Il teorema dell'energia utilizzabile o exergia. Le equazioni per i sistemi chiusi ed aperti. Il lavoro massimo. Il rendimento generalizzato. Analisi exergetica di processi semplici. Compressione ed espansione dei fluidi. Laminazione isoentalpica. Miscelamento e separazione di correnti fluide. Scambio di calore con una differenza finita di temperatura. Trasmissione di calore con attrito in un condotto. Combustione isocora ed isobara. Analisi exergetica di alcuni impianti fondamentali. Scambiatori di calore. Condensatori. Impianti frigoriferi. Impianti a gas per la produzione combinata di calore e lavoro. Impianti a vapore per la produzione combinata di calore e lavoro. Impianti di riscaldamento e cogenerazione urbani.

L'energetica industriale e la termoeconomia.

La rappresentazione dei sistemi energetici naturali ed industriali. Le equazioni di bilancio di energia e di valore. Il costo operativo dei beni. I criteri di ottimizzazione termoeconomico. I metodi di sostituzione.

Le fonti energetiche.

L'energia primaria. Le fonti rinnovabili. Le fonti non rinnovabili. Le riserve. L'energia elettrica. Idroelettricità. Energia termica. Energia nucleare.

Il sistema energetico planetario.

I consumi energetici negli ultimi decenni. I fattori che influenzano i consumi. La struttura dei consumi. Le previsioni di fabbisogno per il futuro.

Il sistema energetico italiano.

I consumi energetici negli ultimi decenni. I fattori che influenzano i consumi. La struttura dei consumi. Le previsioni di fabbisogno per il futuro.

Richiami di nozioni di matematica finanziaria.

Il valore e il costo di un bene. Interesse. Redditività. Tassi di interesse e di sconto. Formule finanziarie. L'ammortamento. L'inflazione. La valutazione degli investimenti. Il metodo dei flussi di cassa. L'analisi costi - benefici.

L'impatto ambientale indotto dagli usi energetici.

Cenni ai metodi di valutazione. La normativa e le leggi vigenti.

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).

Sviluppo completo della analisi energetica, exergetica e termoeconomica di un caso reale per il quale gli allievi devono acquisire i dati, ordinarli, analizzarli e sviluppare uno studio di fattibilità di soluzioni alternative a quelle rilevate.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento: Appunti delle lezioni e materiale distribuito dal docente.

Testi ausiliari:

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

T.J. Kotas, *The exergy method of thermal plant analysis*, Butterworths, London, 1985.

E. Pedrocchi, *Previsioni di fabbisogno energetico per l'Italia*. - In: *La termotecnica*, giugno 1993, p. 25-29.

Previsioni di fabbisogno energetico per il mondo. - In: *La termotecnica*, maggio 1993, p. 21-28.

M. Silvestri, *Il futuro dell'energia*, Bollati Boringhieri, 1989.

ESAME. L'esame consiste nella esposizione della monografia preparata nel corso dell'anno e da un colloquio orale durante il quale l'allievo è tenuto a rispondere sugli argomenti di teoria trattati nelle lezioni.

H1830 Energetica e sistemi nucleari

Anno: periodo X:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2+2 (ore settimanali)

Docente: Evasio Lavagno

Il corso di propone di fornire le conoscenze ingegneristiche e gli strumenti metodologici utili per l'analisi e la valutazione dei principali sistemi energetici industriali e civili, con particolare attenzione rivolta alla produzione di energia elettrica e alla produzione combinata di energia elettrica e termica.

Vengono descritte e analizzate le soluzioni tecnologiche, impiantistiche e di sistema, disponibili sia nel settore nucleare che in quello convenzionale. Particolare attenzione è dedicata alle soluzioni innovative in merito all'uso razionale delle risorse primarie, alla compatibilità ambientale ed alla sicurezza.

REQUISITI. *Termodinamica applicata o Fisica tecnica.*

PROGRAMMA

1. *Elementi introduttivi.* [14 ore]
 - 1.1. *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.
 Energia e sistemi economici. Energia e ambiente. Gli indicatori energetici e la loro evoluzione nelle varie fasi dello sviluppo economico e industriale.
 - 1.2. *Elementi di ecologia.* [6 ore]
 Gli ecosistemi.
 Gli elementi costitutivi dell'ambiente naturale: atmosfera, idrosfera, pedosfera, biosfera, ecc.
 I principali cicli materiali nell'ambiente naturale: acqua, carbonio, azoto, zolfo, ossigeno, ecc.
 Le perturbazioni naturali e quelle di origine antropica.
2. *Fondamenti di energetica.* [8 ore]
 Energia ed exergia.
 Metodologie per l'analisi energetica ed exergetica dei cicli e delle trasformazioni termodinamiche.
3. *Le fonti primarie di energia e la loro utilizzazione.* [20 ore]
 - 3.1. *Le fonti primarie e le modalità del loro impiego:*
 l'energia solare (diretta e indiretta),
 la biomassa,
 i combustibili fossili,
 i combustibili nucleari: fissione e fusione,
 l'idrogeno.
 - 3.2. *Le modalità di vettoriamento.*
 - 3.3. *Gli usi finali.*
4. *Le nuove tecnologie.* [10 ore]
 - 4.1. *Situazione attuale e prospettive per impianti e sistemi provati e per proposte innovative dal punto di vista tecnologico e ambientale. La maturità tecnologica e commerciale. La competizione tra tecnologie antagoniste.*
 - 4.2. *Analisi dello stato dell'arte dei seguenti sistemi:*
 i cicli del carbone,
 i cicli dell'idrogeno,

le celle a combustibile,
 i reattori nucleari avanzati,
 i reattori nucleari a sicurezza intrinseca,
 le fonti rinnovabili.

5. *I modelli per l'analisi dei sistemi energetici.* [14 ore]

- 5.1. Modelli per la valutazione delle caratteristiche tecnologiche, economiche ed ambientali dei sistemi energetici alle varie scale di analisi.
 5.2. Struttura e finalità di alcuni programmi e codici per analisi energetica e la redazione di ecobilanci (GRAFENE, TEMIS) e per la programmazione lineare in scenari evolutivi (MARKAL).

ESERCITAZIONI E LABORATORIO. [40 ore]

Le esercitazioni riguardano:

- l'analisi di un sistema energetico a scala territoriale;
- l'analisi di un particolare ciclo energetico o di un sistema tecnologico.

Nel Laboratorio Didattico di Analisi e Modelli Energetici si svolgeranno applicazioni al computer di alcuni modelli di analisi integrale tecnico-economica e ambientale.

BIBLIOGRAFIA

A.W. Clup, *Principles of energy conversion technologies*, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1991.

Altra documentazione, con i relativi riferimenti bibliografici, sarà messa a disposizione dal docente.

ESAME. Il colloquio d'esame comprende la discussione degli elaborati di esercitazione e laboratorio.

H2370 Gestione dei progetti d'impianto

Anno:periodo X:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali); 56+56 (nell'intero periodo)

Docente: Armando Monte

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

Fattori che influenzano la realizzazione di un impianto industriale. [4 ore]

La progettazione degli impianti industriali. [4 ore]

La figura ed i compiti del *project manager*. [2 ore]

Il *project management* nelle aziende che operano a commessa. [2 ore]

Esempi di progetti impiantistici. [2 ore]

Fasi di sviluppo delle commesse: progettazione, approvvigionamenti, costruzioni, montaggi, collaudi. [4 ore]

Modelli organizzativi delle società che gestiscono progetti. [2 ore]

Studi di fattibilità; tecniche di prevenzione; valutazione delle offerte. [2 ore]

La programmazione del progetto. [4 ore]

Misura degli avanzamenti e tecniche di controllo: tempi, costi, qualità. [6 ore]

Il supporto del *personal computer*. [2 ore]

Aspetti economico-finanziari: bilancio e controllo delle commesse; forme di finanziamento e di pagamento. [6 ore]

Principi di contrattualistica; raggruppamenti di imprese; tipi di contratti e relativa gestione. [4 ore]

Rischi e coperture assicurative. [4 ore]

Modalità di assegnazione e di gestione delle opere pubbliche. [6 ore]

ESERCITAZIONI. Esempi applicativi relativi alla progettazione ed alla realizzazione di impianti industriali.

BIBLIOGRAFIA

R.D. Archibald, *Project management*, Angeli, Milano.

Lezioni di project management, ETAS Libri, Milano.

Documentazione distribuita a lezione.

H2560 Illuminotecnica

Anno:periodo X:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); 70+20+10 (nell'intero periodo)

Docente: Augusto Mazza

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

Il corso intende fornire le conoscenze necessarie alla valutazione dell'illuminamento naturale ed artificiale per interni ed esterni ed alla elaborazione di progetti di impianti di illuminazione, ampliando e completando le nozioni di illuminotecnica acquisite dall'insegnamento di *Fisica tecnica*, che costituisce un prerequisito essenziale.

PROGRAMMA

Nella prima parte del corso vengono illustrate le caratteristiche della radiazione ed i processi di scambio radiativo.

Vengono quindi introdotte le grandezze fotometriche ed analizzato il processo della visione in tutti i suoi aspetti; particolare attenzione viene posta nella colorimetria ed in una approfondita analisi dei sistemi colorimetrici.

Vengono successivamente prese in esame le sorgenti luminose ad incandescenza, luminescenza e fluorescenza ed i vari tipi di apparecchi illuminanti.

Si passa poi ad i metodi di calcolo dell'illuminamento diretto (per aree all'aperto, campi sportivi, monumenti, ambienti di grandi dimensioni), seguiti da quelli per ambienti chiusi in presenza di superfici riflettenti.

Vengono approfondite le applicazioni a settori specifici: illuminazione stradale e di gallerie, illuminazione di impianti sportivi, di capannoni industriali, di uffici ed ambienti di lavoro con particolare attenzione ai problemi di comfort visivo ed alle considerazioni economico-energetiche.

Vengono infine trattati i principali aspetti dell'illuminazione naturale con i relativi metodi di calcolo.

ESERCITAZIONI. Progetto e calcolo di diversi tipi di impianti di illuminazione e misure fotometriche in laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

G. Forcolini, *Illuminazione di interni*, Hoepli, Milano, 1988.

G. Parolini, M. Paribeni, *Tecnica dell'illuminazione*, UTET, 1977.

H2710 Impianti elettrici a media e bassa tensione

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+2+1 (ore settimanali)

Docente: Giovanni Cantarella

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

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

PROGRAMMA

1. Componenti degli impianti e sovracomponenti

Ruolo degli apparecchi di interruzione negli impianti di distribuzione e utilizzazione dell'energia elettrica. Attualità degli apparecchi elettromeccanici. Protezione degli impianti elettrici industriali e residenziali. Esempi applicativi. Sovracorrenti. Corrente di cortocircuito; componente simmetrica ed unidirezionale. Picco massimo della corrente di cortocircuito e sua dipendenza dall'istante iniziale del guasto. Trattazione analitica e esempi applicativi.

2. Sorgenti di correnti di cortocircuito

Cortocircuito ai terminali di un generatore sincrono. Corrente transitoria nell'avvolgimento di eccitazione e negli smorzatori. Reattanza subtransitoria, transitoria e sincrona. Andamento nel tempo della corrente di cortocircuito e costanti di tempo relative. Contributo dei motori sincroni alla corrente di guasto di cortocircuito. Contributo dei motori asincroni alla corrente di cortocircuito. Trattazione analitica semplificata. Esempi applicativi e procedimenti di calcolo secondo le norme CEI e IEC.

3. Sollecitazioni termiche

Trasmissione di calore negli apparecchi elettrici per conduzione, convezione e irraggiamento. Campo di temperatura. Riscaldamento di conduttori a sezione costante. Costante di tempo al variare della densità di corrente. Corrente critica. Conduttori connessi a un apparecchio elettrico: effetto dei terminali sulla temperatura. Riscaldamento di un conduttore in un tratto di sezione ridotta. Gradiente di temperatura e potenza trasmessa al conduttore. Riscaldamento di conduttori sottoposti ad arco elettrico. Riscaldamento di conduttori isolati e delle bobine degli apparecchi elettrici. Conduttori in condizioni di cortocircuito. I^2t o integrale di Joule. Riscaldamento di conduttori con carico intermittente. Limiti di temperatura a regime termico. Sovraccarico ammissibile in servizio intermittente.

4. Sollecitazioni elettrodinamiche

Forze elettrodinamiche agenti tra conduttori complanari non paralleli. Caso generale. Diagramma delle forze. Forze agenti tra conduttori rettilinei paralleli di lunghezza illimitata e finita. Forza di attrazione tra una parete ferromagnetica e un conduttore. Forze agenti su conduttori disposti ad angolo retto e ad U. Forze agenti tra conduttori rettilinei paralleli. Diagramma generalizzato per la determinazione delle forze. Forze agenti su un conduttore circolare: forza radiale e tangenziale. Valori istantanei delle forze agenti con corrente alternata.

5. Arco elettrico

Zona catodica, anodica e colonna d'arco. Ionizzazione termica. Grado di ionizzazione dell'arco elettrico. Relazione di Eggert-Saha. Ionizzazione per effetto del campo elettrico. Formazione di ioni negativi. Ricombinazione. Fenomeni magnetici nell'arco: campi circolari e trasversali, strizione dell'arco. Getto di plasma. "Esplosione" all'interruzione della corrente. Caratteristica statica e dinamica dell'arco. Condizioni di stabilità dell'arco. L'arco elettrico in regime generico transitorio. Modello matematico dell'arco. Costante di tempo dell'arco e sua influenza sul processo di interruzione. Resistenza dell'arco all'istante di interruzione della corrente e durante il fenomeno di post-arco. Determinazione della potenza dissipata e della costante di tempo dell'arco.

6. Interruzione di corrente continua

Interruzione di corrente continua in circuiti resistivi ed induttivi. Influenza della tensione di alimentazione e della corrente. Andamento nel tempo della corrente e della tensione d'arco. Sovratensione all'interruzione. Sovratensione in caso di strappamento della corrente. Energia trasformata in calore. Riduzione della sovratensione all'interruzione. Interruttori rapidi per corrente continua: limitazione del picco, della durata della corrente, dell' I^2t e dell'energia trasformata nell'arco di interruzione.

7. Interruzione di corrente alternata

Interruzione di corrente alternata in circuiti puramente resistivi e prevalentemente induttivi. Tensione transitoria di ritorno (TTR) e alla frequenza di alimentazione. Frequenza propria del circuito senza e con smorzamento. Resistenza critica. Fattore di ampiezza e fattore *gamma*. TTR e reinnesco dell'arco elettrico. Influenza della corrente di post-arco sul reinnesco dell'arco. La tensione transitoria di ritorno nella normativa del CEI e della IEC. Rappresentazione della TTR mediante i metodi dei due e dei quattro parametri. Interruzione di correnti in circuiti trifase. Diagrammi della corrente, della tensione e della TTR.

8. Apparecchi di protezione contro le sovracorrenti

Interruttori a pieno volume d'olio, a olio ridotto. Interruttori in aria compressa e SF₆. Interruttori magnetici e in vuoto. Condizioni di funzionamento degli interruttori particolarmente severe. Cenni sull'interruzione di piccole correnti induttive con strappamento di corrente. Sovratensione. Interruzione di correnti capacitive. Tensione di ritorno. Sovratensione in caso di ripetuti reinneschi d'arco. Interruzione in discordanza di fase. Rapporto tra corrente di circolazione e di cortocircuito. TTR ai terminali dell'interruttore della corrente di circolazione e di quello di cortocircuito. TTR e fattore di ampiezza nell'interruzione in opposizione di fase. Interruzione nei circuiti con neutro connesso a terra e in quelli con neutro isolato.

Sganciatori. Corrente di regolazione. Caratteristiche di intervento di interruttori automatici per impianti industriali, domestici e similari. Correnti convenzionali di intervento e di non intervento. Poteri di chiusura e di interruzione nominali di interruttori automatici. Ipotesi di costanza e non dell'ampiezza della componente simmetrica della corrente di cortocircuito. Potere di interruzione estremo e di servizio (I_{CU} e I_{CS}). Selettività. Categorie di utilizzazione *A* e *B* degli interruttori automatici. Corrente di breve durata ammissibile nominale (I_{CW}). Caratteristiche I^2t - corrente presunta. Contattori: costituzione e caratteristiche. Categorie di utilizzazione. Poteri di chiusura e interruzione. Prestazioni in servizio occasionale. Coordinamento con i dispositivi di protezione contro cortocircuito.

9. Apparecchi limitatori di corrente

Fusibili e interruttori limitatori. Struttura funzionale. Caratteristiche tempo - corrente. Correnti e tempi convenzionali. Caratteristiche I^2t e di limitazione. Energia d'arco.

Fusibili tipo *gG*, *gM*, e *aM* e relativi funzionamenti. Protezione dei circuiti di alimentazione di motori mediante fusibili e loro scelta. Sovratensione di funzionamento dei dispositivi limitatori di corrente.

10. Cavi elettrici

Indicazioni e requisiti normativi per i cavi isolati in PVC, G2, EPR, XLPE. Durata di vita dei cavi. Protezione dei cavi contro sovraccarico: ipotesi teorica e soluzione normativa. Protezione contro cortocircuito mediante interruttori automatici e fusibili.

ESERCITAZIONI. Esercitazioni di calcolo relative agli argomenti trattati nelle lezioni.

LABORATORIO

Esercitazioni pratiche svolte nei laboratori di cortocircuito dell'IEN "Galileo Ferraris".

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento: *Appunti dalle lezioni*.

Testi ausiliari, per approfondimenti: *Normativa nazionale ed internazionale*.

H2720 Impianti industriali

Anno:periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Francesco Spirito

Scopo: far conoscere i principali problemi attinenti agli impianti industriali con i quali gli ingegneri vengono a contatto durante la loro attività professionale e fornire i criteri di progettazione e di gestione degli impianti stessi.

REQUISITI. Si richiedono conoscenze di statistica e di ricerca operativa.

PROGRAMMA

1. Generalità. [8 ore]

Caratteristiche di un impianto industriale. Ubicazione di un impianto industriale. Studio del *plant layout*. Magazzini industriali. Sistemi costruttivi fabbricati industriali. Coperture e pareti (illuminazione naturale, acclimazione).

2. Trasporti interni. [15 ore]

Carrelli, paranchi, argani, carroponti, gru, trasportatori a rulli e a nastro, elevatori a tazze, convogliatori aerei e a carrelli, trasportatori a catena e pneumatici.

3. Impianti di distribuzione dell'acqua. [9 ore]

Derivazione da acquedotto e da acque superficiali. Pozzi a percussione, a drenaggio artificiale, a rotazione (a circolazione diretta e inversa). Pompe per acqua. Progettazione delle reti di distribuzione. Reti: metodo diametro economico e metodo massima economia.

4. Impianti e dispositivi antincendio. [5 ore]

Classificazione e cinetica degli incendi. Carico di incendio. Segnalazione degli incendi. Mezzi antincendio mobili. Impianti antincendio fissi.

5. Impianti aria compressa. [4 ore]

Compressori. Refrigeratori finali. Reti di distribuzione.

6. *Impianti elettrici e di illuminazione.* [4 ore]

Fornitura energia elettrica. Linee di trasporto e di distribuzione. Trasformatori. Cavi e linee blindate. Scelta corpi illuminanti. Illuminazione ambiente di lavoro.

7. *Impianti di aspirazione e di depurazione.* [4 ore]

Analisi delle polluzioni. Normativa inquinamenti atmosferici. Caratteristiche delle cappe. Impianti di depurazione a secco e a umido. Depurazione odori. Abbattimento di gas e vapori.

8. *Inquinamento e trattamento acque.* [10 ore]

Impurezze delle acque di scarico. Metodi di valutazione dell'inquinamento. Trattamenti delle acque primarie. Trattamenti delle acque reflue. Fanghi: generalità. Trattamenti fisici, chimici e biologici. Trattamenti meccanici, termici.

9. *Inquinamento da rumore.* [7 ore]

Caratteristiche del suono. Campi sonori. Normativa sul rumore. Silenziatori. Interventi per ridurre il rumore industriale.

10. *Applicazioni di programmazione lineare e statistica.* [9 ore]

Metodo dei trasporti. Regola della torre. Teoria del campione. Ricerche di mercato. Modelli teorici delle code. Metodo Monte Carlo. Metodo osservazioni istantanee.

ESERCITAZIONI

– Progetto *layout* di stabilimento. [15 ore]

Dati e obiettivi. Cicli e produzione. Dimensionamento magazzini. Studio *layout* macchine: verifica soluzione con più metodi. Valutazione economica.

– Applicazioni ed esercizi di:

Monte Carlo. [2 ore]

Ricerche di mercato. [2 ore]

Osservazioni istantanee. [2 ore]

Metodo dei trasporti. [4 ore]

BIBLIOGRAFIA

A. Monte, *Elementi di impianti industriali*, Cortina, Torino.

ESAME

L'esame si articola in due parti: una prova scritta e una prova orale.

La prova scritta comprende argomenti di teoria ed esercizi di calcolo. Il raggiungimento di una valutazione sufficiente è essenziale per l'ammissione all'orale. Lo studente è guidato nella valutazione dell'elaborato da un peso assegnato ad ogni singolo esercizio. La parte fiscale dell'esame (consegna dello statino) ha inizio al momento in cui l'allievo consegna l'elaborato: pertanto è data ampia facoltà allo studente di ritirarsi in qualunque momento durante la prova scritta.

La prova orale inizia con la discussione dell'elaborato e prosegue con un colloquio che può toccare argomenti dell'intero programma del corso.

H2780 Impianti per la cogenerazione e il risparmio energetico

Anno: periodo X:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+3 (ore settimanali)

Docente: Salvatore Mancò

Il corso si propone di esaminare i sistemi a energia totale, evidenziando le caratteristiche tecniche ed economiche che li contraddistinguono, e mettendo in evidenza le varie forme di risparmio energetico che possono essere avviate in un processo di razionalizzazione e corretto uso dell'energia nei processi industriali.

REQUISITI. *Energetica 1 + Sistemi energetici 1, Energetica 2 + Sistemi energetici 2.*

PROGRAMMA

1. Sistemi ad energia totale

Premesse termodinamiche. La cogenerazione di calore e potenza. Il ciclo di turbina a vapore, a recupero totale e parziale. Il ciclo della turbina a gas. Il ciclo combinato gas-vapore. Il ciclo binario. Il ciclo del motore Diesel.

2. Prestazione di un sistema a cogenerazione

Definizione di processo, sistema e centrale di cogenerazione. Classificazione. Condizioni nominale di un sistema di cogenerazione. Parametri significativi.

3. *Criteri economici* di valutazione dei costi di costruzione dei sistemi di cogenerazione, del costo di distribuzione dell'energia, dei costi di gestione, e di mantenimento in efficienza.

4. Cogenerazione e teleriscaldamento

Caratteristiche dell'impianto sotto il profilo energetico e di impatto ambientale. Analisi di fattibilità del teleriscaldamento urbano.

5. *Alcune soluzioni* di produzione combinata elettricità-calore. Il sistema Totem. L'impianto di cogenerazione di Vallette. L'impianto di cogenerazione di Torino sud.

ESERCITAZIONI. Esercitazioni numeriche relative a sistemi cogenerativi reali.

H2800 Impianti speciali idraulici

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 60+40 (ore, nell'intero periodo)

Docenti: Enzo Buffa, Paolo Mosca

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

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.

H2820 Impianti termotecnici

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali); 56+52+4 (nell'intero periodo)

Docente: Vincenzo Ferro (collab.: Marco Masoero)

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. *Fisica tecnica.*

PROGRAMMA

1. *Classificazione e descrizione generale degli impianti termotecnici.* Richiami di termodinamica, meccanica dei fluidi e trasmissione del calore.

2. *Generatori di calore:* tipologie costruttive, bilancio energetico, definizioni e metodi di misura dei rendimenti, camini: metodi di dimensionamento e verifica; riferimenti normativi.

3. *Normativa per la sicurezza* dei generatori di calore e degli apparecchi in pressione (DM 1.12.75). Problemi di prevenzione incendi nelle centrali termiche. Normativa per l'installazione delle apparecchiature domestiche a gas.

4. *Scambiatori di calore:* tipologie costruttive; dimensionamento con i metodi LMTD e NTU; norme TEMA. Cenni al comportamento termico in transitorio e al dimensionamento strutturale.

5. *Principi della climatizzazione ambientale:* teoria di Fanger del *comfort* termo-igrometrico; qualità dell'aria negli ambienti confinati; requisiti e condizioni di progetto per il dimensionamento degli impianti di climatizzazione.

6. *Bilancio energetico di un edificio climatizzato:* calcolo del carico termico in condizioni invernali ed estive. Riferimenti normativi; analisi delle principali metodologie di calcolo manuale ed informatizzato; richiami sulla termodinamica dell'aria umida.

7. *Impianti di climatizzazione a tutta aria, misti aria - acqua, a sola acqua ed autonomi:* descrizione delle principali tipologie e metodi di dimensionamento; criteri di scelta

delle tipologie di impianto, problemi installativi; conduzione e manutenzione degli impianti, cenni alla regolazione degli impianti.

8. *Reti di distribuzione dei fluidi* (aria ed acqua); canali di distribuzione dell'aria: dimensionamento con i metodi a velocità imposta, a caduta di pressione costante e a recupero di pressione statica; scelta del ventilatore, verifica e bilanciamento, tubazioni di distribuzione dell'acqua; dimensionamento della rete, verifica e bilanciamento.

9. *Impianti di riscaldamento e ventilazione* per edifici civili e industriali: tipologie costruttive, problemi di installazione e conduzione; ventilazione naturale e forzata.

10. *Centrali per la produzione del freddo*: macchine frigorifere a compressione e ad assorbimento, richiami sui cicli termodinamici; compatibilità ambientale dei fluidi refrigeranti; principali tipologie, di impianto aspetti progettuali ed installativi; impianti a pompa di calore.

11. *Energetica degli impianti di climatizzazione*. La normativa italiana sul risparmio energetico (legge 10/91, regolamenti di attuazione e norme di supporto); metodologie di analisi del consumo di energia per climatizzazione; soluzioni progettuali per il risparmio energetico (recupero termico, *free cooling*, accumulo giornaliero, sistemi di super-visione, ecc.).

12. *Sistemi di cogenerazione*: impianti basati su turbine a vapore, turbine a gas e motori alternativi a combustione interna; struttura delle tariffe elettriche, costo dei combustibili e contratti di gestione energetica; criteri di convenienza e metodi di analisi tecnico-economica di sistemi di cogenerazione; sistemi di riscaldamento urbano; esempi di realizzazioni impiantistiche.

13. *Ventilazione delle gallerie*: tipologie di impianto; metodi di dimensionamento.

14. *Impatto ambientale degli impianti*; emissioni inquinanti in atmosfera: normativa di riferimento, effetti e tecniche di abbattimento; il rumore degli impianti: normativa di riferimento, effetti e tecniche di mitigazione.

ESERCITAZIONI

Esercitazioni di progetto:

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 prevenzione incendi.
2. Progetto dell'impianto di climatizzazione 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 aria e acqua.
3. Analisi energetico-economica di un impianto di cogenerazione per un complesso ospedaliero.

LABORATORIO

Esperienza di utilizzazione di un banco sperimentale sulla climatizzazione ambientale. Verranno inoltre organizzate visite ad impianti termotecnici esistenti.

BIBLIOGRAFIA

Il docente mette a disposizione degli studenti una raccolta di documenti (leggi, normative, articoli, ecc.) per lo svolgimento delle esercitazioni di progetto e per l'approfondimento dei temi trattati.

Testi per approfondimenti:

E. Macchi, P.M. Pellò, E. Sacchi, *Cogenerazione e teleriscaldamento*, CLUP, Milano.

C. Pizzetti, *Condizionamento dell'aria*, Masson, Milano.

E. Bettanini, P. Brunello, *Impianti tecnici*, CLEUP, Padova.

ASHRAE handbook (quattro volumi).

ESAME

Esame orale al termine del corso, che verte sia sulle esercitazioni, sia sugli altri argomenti trattati. Per sostenere l'esame è necessario aver completato le esercitazioni di progetto, che potranno essere svolte in gruppi di due (massimo tre) persone. La valutazione si basa, in misura sostanzialmente equilibrata, sulla qualità degli elaborati di progetto e sul livello di preparazione dimostrato.

H3000 Intelligenza artificiale

Anno/periodo x:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Elio Piccolo

Il corso si propone di illustrare le problematiche 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 apprenderà l'uso di linguaggi non algoritmici, quali LISP e Prolog, di *shell* di sistemi aperti e di altri strumenti di intelligenza artificiale.

PROGRAMMA

1. Strategie per la risoluzione di problemi.

Soluzioni nello spazio degli stati. Soluzione per decomposizione in sotto-problemi. Ricerca in ampiezza, profondità e mediante euristica.

2. 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*.

3. Rappresentazione della conoscenza.

Le reti semantiche. Le regole di produzione. *Iframe*. 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.

4. 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 basata 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*.

5. *Linguaggi non procedurali.*

I linguaggi funzionali con particolare attenzione al LISP. I linguaggi logici, con particolare attenzione al Prolog.

6. *Riconoscimento e comprensione.*

Tecniche di riconoscimento di configurazioni (pattern recognition, approccio statico e sintattico). Il riconoscimento delle immagini. Il riconoscimento del parlato.

ESERCITAZIONI

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.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

E. Rich, *Intelligenza artificiale*, McGraw-Hill, Milano.

N.J. Nilsson, *Metodi per la risoluzione dei problemi nell'intelligenza artificiale*, Angeli, Milano.

Testo ausiliario:

I. Bratko, *Programmare in Prolog per l'intelligenza artificiale*, Masson - Addison-Wesley, Milano.

ESAME. Per il superamento dell'esame, oltre a sostenere una prova orale, l'allievo dovrà approfondire uno degli argomenti del corso, a sua scelta, svolgendo una tesina e sviluppando una parte sperimentale.

H3090 Localizzazione dei sistemi energetici

Anno/periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2+2 (ore settimanali)

Docente: Evasio Lavagno

Il corso si propone di analizzare le metodologie e le procedure di localizzazione di impianti, infrastrutture e sistemi energetici con particolare attenzione rivolta alle soluzioni tecnologiche 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. Viene sviluppata una applicazione progettuale con caratteristiche di studio di fattibilità.

REQUISITI. *Fisica tecnica, Macchine, (Energetica e sistemi nucleari).*

PROGRAMMA

1. *Elementi di ecologia e di energetica.* [8 ore]
(gli argomenti segnati con * verranno sviluppati principalmente per gli studenti che non hanno seguito il corso di *Energetica e sistemi nucleari*).
- 1.1. Elementi di ecologia *
Gli ecosistemi. Gli elementi costitutivi dell'ambiente naturale e i principali cicli materiali nell'ambiente naturale. Le perturbazioni naturali e antropogeniche.
- 1.2. Le forme e le trasformazioni dell'energia *
Le forme dell'energia. Le trasformazioni dell'energia: spontanee, reversibili, irreversibili. Energia, exergia, anergia. Analisi energetica di processi e sistemi:

metodi, modelli e applicazioni.

1.3. Cenni storici e scenari per il futuro *

I contributi delle varie forme primarie al soddisfacimento dei fabbisogni; fonti primarie, risorse, riserve; processi di trasformazione; fabbisogni energetici ed usi finali. Evoluzione storica dei consumi; descrizione di alcune situazioni nazionali caratteristiche; previsioni e scenari. La situazione italiana nel contesto europeo.

1.4. L'approccio sistemico all'analisi dei sistemi energetici.

I cicli energetici: le fonti primarie e quelle rinnovabili. L'energia nucleare. I combustibili fossili: carbone, olio, gas naturale. I combustibili secondari: i prodotti delle trasformazioni del carbone e della biomassa. Il ciclo dell'idrogeno.

2. *Gli impianti, i cicli ed i sistemi energetici.* [20 ore]

2.1. Impianti e sistemi per la produzione di energia elettrica e di energia termica.

I processi di combustione (richiami). Caldaie, turbine a vapore e a gas, motori alternativi; cicli combinati; celle a combustibile. Impianti nucleari. La produzione combinata di energia elettrica e termica. Le pompe di calore.

2.2. Schemi di impianto.

Descrizione di alcune schemi particolarmente significativi in merito alle soluzioni tecnologiche adottate per la riduzione dell'impatto e del rischio ambientali.

2.3. Valutazioni qualitative e quantitative dei rilasci di esercizio e dei rilasci incidentali.

Tecniche di controllo e riduzione delle emissioni

2.4. La prevenzione del rischio.

2.5. Le infrastrutture necessarie per la gestione dei cicli energetici.

Il vettore dell'energia e le reti energetiche. Le interconnessioni sovranazionali.

2.6. Il ciclo completo del combustibile e l'impatto ambientale complessivo.

3. *Il contesto normativo in merito ai processi di localizzazione dei sistemi energetici e agli standards ambientali.* [8 ore]

3.1. Norme e procedure della legislazione nazionale ed internazionale.

Gli *standards* di qualità ambientale. Normativa USA, CEE ed italiana.

3.2. Analisi critica di alcuni casi rilevanti di processi localizzativi.

Le localizzazioni di impianti elettronucleari.

4. *Analisi di impianti e sistemi energetici.* [24 ore]

4.1. Definizione dei parametri di valutazione.

In termini di validità: tecnologica, energetica, socio-economica, territoriale, ambientale. Le analisi costi / benefici.

4.2. Criteri e metodi per la valutazione delle alternative.

La modellazione dei sistemi energetici. Modelli integrali. Modelli per la valutazione delle alternative di localizzazione. Le procedure per la scelta e la qualificazione dei siti: l'esperienza nucleare.

4.3. Energia e aree urbane.

La pianificazione energetica territoriale. Le aree urbane. La zonizzazione territoriale.

ESERCITAZIONI. Le esercitazioni e le attività del laboratorio didattico consistono nello sviluppo di casi concernenti diversi sistemi energetici, produttivi e/o territoriali. Verrà sviluppata una applicazione a livello di studio di fattibilità.

BIBLIOGRAFIA. Verrà messo a disposizione materiale di documentazione e verranno forniti riferimenti bibliografici.

ESAME. Il colloquio di esame comprende la discussione degli elaborati di esercitazione e laboratorio.

H3280 Meccanica dei robot

Anno/periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Ario Romiti (collab.: Andrea Manuello)

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 dei robot in sistemi complessi alla personalizzazione dei robot per usi particolari.

REQUISITI. Conoscenza approfondita di nozioni di analisi matematica, geometria, meccanica applicata.

PROGRAMMA

Tipologie di robot industriali; classificazione delle strutture meccaniche; applicazioni: robot di montaggio, manipolazione, saldatura, verniciatura. Robot speciali: robot mobili, per applicazioni mediche, spaziali, minerarie, oceaniche, nucleari. [4 ore]

Cinematica dei robot: metodi per la descrizione del posizionamento e dell'orientamento di un corpo nello spazio mediante vettori e matrici. Trasformazioni cinematiche nello spazio: traslazioni, rotazioni, trasformazioni omogenee. Angoli di Eulero, formula di Rodriguez. Metodo di Denavit-Hartenberg (vers. Craig) per la descrizione del posizionamento relativo tra gli elementi di un robot. [9 ore]

Espressioni ricorsive delle velocità e delle accelerazioni dei giunti e degli elementi di un robot. Determinazione della matrice jacobiana. Analisi cinematica inversa di strutture con polsi monocentrici. [4 ore]

Tipologie e schemi funzionali e realizzativi di polsi per robot a due e tre gradi di libertà. Analisi cinematica dei polsi. Metodo di definizione del livello di degenerazione. [4 ore]

Sistemi per la trasmissione e la trasformazione del moto. Trasmissioni con flessibili, con alberi coassiali, a parallelogramma. Riduttori epicicloidali. Riduttori speciali: *harmonic drive*, articolati (Redax, Cyclo), Teijin-Seiki. [16 ore]

Sistemi di presa e manipolazione per robot: tipologie, schemi funzionali e realizzativi, metodi di analisi e di progetto. [2 ore]

Statica dei manipolatori: equazioni di equilibrio, principio dei lavori virtuali. Dinamica dei manipolatori. Azioni d'inerzia su un corpo rigido nello spazio. Equazioni di Newton-Eulero, equazioni di Lagrange. [7 ore]

Traiettorie del moto di manipolatori. Traiettorie nello spazio dei giunti e nello spazio cartesiano. Punti virtuali lungo la traiettoria. Traiettorie di raccordo con rotazioni coniche. Valutazione degli errori di posizionamento.

Oscillazioni di un manipolatore per diversi tipi di traiettorie. Valutazione della frequenza fondamentale. Valutazione del massimo *overshoot* con diverse leggi di comando. [8 ore]

Controllo dei robot. Leggi del motore dell'asservimento. Schema del controllo. Con-

trollo nello spazio dei giunti. Scelta dei parametri delle matrici di guadagno proporzionale, derivativa e integrativa. Controllo nello spazio cartesiano. [4 ore]

Azionamenti per robot: elettrici, idraulici, pneumatici. Motori elettrici a corrente continua, a magneti permanenti, *brushless*, motori a passo. Caratteristica meccanica. Caratteristiche elettrodinamiche di motori a c.c. Modellazione dinamica di servo-azionamenti elettrici per controllo di velocità e di posizione. [4 ore]

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nello svolgimento di esercizi relativi a quanto sviluppato durante le lezioni, con particolare riferimento all'utilizzo dei robot in ambiti diversi, con dimostrazioni in laboratorio del funzionamento dei diversi tipi di robot e con la spiegazione di codici di calcolo anche esplicitamente dedicati alla robotica (ADAMS, ROANS, MATLAB, MAPLE).

BIBLIOGRAFIA

A. Romiti, *Cinematica e dinamica dei robot*, (dispense del corso).
King-Sun Fu, R.C. Gonzalez, C.S. George Lee, *Robotica*, McGraw-Hill.
E.I. Rivin, *Mechanical design of robots*, McGraw-Hill.
R. Paul, *Robot manipulators*, MIT Press.

ESAME. L'esame si svolge in forma orale sull'intero programma del corso (lezioni ed esercitazioni).

H3460 **Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo**

Anno:periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2+2 (ore settimanali)
Docente: Giovanni Fiorio (collab.: Stefano Malan)

L'insegnamento è rivolto in generale a tutti gli allievi che desiderano approfondire le loro conoscenze in problemi di ottimizzazione di sistemi dinamici. La trattazione viene svolta per sistemi dinamici descritti da modelli a tempo sia discreto, sia continuo. Particolare rilievo viene riservato a problemi di tipo LQ (lineare-quadratico) in presenza di riferimenti e disturbi. Il programma termina con la presentazione del controllo *H-infinito* e del controllo ottimo decentralizzato e gerarchico.

REQUISITI. L'insegnamento richiede la conoscenza di quello fondamentale di *Controlli automatici* e possibilmente anche di *Teoria dei sistemi*.

PROGRAMMA

1. *Presentazione dei problemi di ottimizzazione negli studi di ingegneria.* L'ottimizzazione in termini matematici: ottimizzazione in spazi euclidei, in spazi di funzioni, cenni all'ottimizzazione discreta. Introduzione all'ottimizzazione nei sistemi di controllo.

2. *Ottimizzazione in spazi euclidei.*

Metodi analitici in assenza di vincoli; in presenza di vincoli di uguaglianza: moltiplicatori di Lagrange; con vincoli di disuguaglianza: le condizioni di Kuhn e Tucker. La

dualità. Metodi numerici di ottimizzazione: metodi del gradiente, della ricerca diretta, delle direzioni ammissibili, delle funzioni di penalità.

3. *Controllo ottimo a tempo discreto.*

Problema base. Discretizzazione delle espressioni contenute nel problema base. Problemi di controllo ottimo lineare-quadratico, senza e con riferimenti e disturbi.

4. *Controllo ottimo a tempo continuo.*

Orizzonte temporale prefissato e assenza di vincoli all'istante finale. Forma generale e forma particolare del problema lineare-quadratico in assenza di riferimenti e disturbi. Orizzonte temporale incognito e presenza di vincoli all'istante finale. Il problema del controllo in tempo minimo. Il principio del minimo di Pontriaghin.

5. *Cenni sulla programmazione dinamica e sulle sue applicazioni.*

Il principio di ottimalità. Ottimizzazione di percorsi su grafi orientati. Il principio di ottimalità applicato al controllo ottimo di sistemi a tempo discreto.

6. *Sviluppi della teoria del controllo ottimo a tempo continuo nell'ambito lineare-quadratico.*

Uso della programmazione dinamica per la deduzione dell'equazione di Hamilton-Jacobi. L'equazione matriciale differenziale di Riccati. Procedimento di risoluzione dell'equazione suddetta. Il problema del regolatore lineare quadratico in presenza di riferimenti e disturbi. Controllo su tempo infinito e controllo predittivo. Controllo ottimo con retroazione proporzionale dagli stati e integrale dalle uscite. Proprietà di robustezza del controllo ottimo lineare-quadratico. Identità e disuguaglianza di Kalman, e loro conseguenze.

7. *Ottimizzazione negli spazi di Hardy.*

Introduzione matematica. Il problema *standard*: problema dell'adeguamento al modello, problema dell'inseguimento a due gradi di libertà. Robustezza e specifiche classiche. Impianto aumentato. Ottimizzazione negli spazi $H-2$ e H -infinito. L'operatore di Riccati. Sintesi $H-2$ e sintesi H -infinito.

8. *Strutture gerarchiche di controllo ottimo decentralizzato.*

Descrizione, modello matematico e formulazione del controllo ottimo di una struttura decentralizzata. Primo criterio di coordinamento: bilanciamento dell'interazione: soluzione del problema con l'uso del principio di dualità. Secondo criterio di coordinamento: predizione dell'interazione. Confronti fra i due criteri.

ESERCITAZIONI

Alle esercitazioni in aula è dedicata una coppia di ore consecutive ogni settimana. Le settimane dedicate alle esercitazioni sono circa una decina, ed ogni esercitazione riguarda l'argomento trattato a lezione la settimana precedente. A ciascuno degli otto capitoli del programma delle lezioni è dedicata una esercitazione settimanale, salvo a quelli di maggior estensione, cui sono dedicate due o eccezionalmente tre esercitazioni successive. Gli esercizi presentati nelle esercitazioni sono contenuti alla fine di ogni capitolo del testo di riferimento.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

G. Fiorio e S. Malan, *Introduzione al controllo ottimo*, CLUT, 1994.

Testo ausiliario:

P. Dorato, C. Abdallah, V. Cerone, *Linear-quadratic control : an introduction*, Prentice-Hall, 1995.

ESAME

L'esame consiste di due parti, entrambe orali: la prima riguarda la discussione di una tesina, preparata durante il corso, con l'uso dei mezzi del Laboratorio di Informatica di Base, se questo viene preferito dagli studenti in alternativa all'uso di mezzi informatici propri; la tesina deve avere come contenuto minimo la risoluzione completa di sei problemi, ognuno dei quali presentato in una diversa esercitazione; la seconda parte dell'esame riguarda tutto il programma delle lezioni.

H3500 Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici

Anno:periodo X:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4+2 (ore settimanali); 80+40 (nell'intero periodo)

Docente: Grazia Vicario

Scopo del corso è quello di fornire agli allievi (di Ingegneria gestionale, e di altri corsi per cui sia dichiarato materia opzionale) 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 1, Geometria* (gestionali), *Analisi matematica 2* (altri corsi di laurea).

PROGRAMMA

1. Probabilità. [8 ore + eserc.]

Definizioni di probabilità e loro applicabilità, nozioni di calcolo combinatorio, regole di calcolo delle probabilità, probabilità a posteriori, la formula di Bayes.

2. Distribuzioni. [18 ore + eserc.]

Variabile casuale (discreta e continua), distribuzioni di variabili discrete e continue, principali distribuzioni teoriche, parametri principali relativi a posizione, dispersione, forma, disuguaglianza di Tchebycheff.

3. Statistica descrittiva. [6 ore + presentazione di un *package* statistico]

Concetti di popolazione, campione e metodi di campionamento, distribuzioni sperimentali (classi e rappresentazioni grafiche), misure di tendenza centrale e di dispersione, metodi grafici, GPN e suo impiego diagnostico.

4. Distribuzioni congiunte. [12 ore + eserc.]

Distribuzioni congiunte, covarianza e coefficiente di correlazione, distribuzione normale bidimensionale, somma, prodotto e quoziente di variabili casuali, distribuzione del massimo e del minimo, applicazioni allo studio dell'affidabilità.

5. Processi stocastici. [10 ore + eserc.]

Processi di Poisson, cenni alla teoria delle code, catene di Markov; processi markoviani omogenei.

6. *Inferenza statistica.* [14 ore + eserc.]

Distribuzioni campionarie, teorema del limite centrale e sue applicazioni ed implicazioni, stima puntuale, stimatori e loro proprietà, intervallo di fiducia e limiti di fiducia per medie, osservazioni a coppie, varianze, proporzioni, basi logic orie di un *test* di ipotesi, tipi di errori e loro controllo, livello e *test* di significatività, curve caratteristiche orie operative e loro uso, *test* riguardanti le medie, le proporzioni, la varianza e confronto fra due o più varianze.

7. *Analisi della varianza.* [4 ore + eserc.]

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

8. *Regressione.* [6 ore + eserc.]

Regressione lineare semplice (valutazione di adattamento e variabilità residua), analisi della varianza, osservazioni ripetute, regressione multipla, calcolo con procedimento matriciale, analisi della varianza, correlazione.

9. *Cenni sulla Progettazione degli esperimenti.* [2 ore]

Interdipendenza tra criteri di analisi dei risultati e criteri di pianificazione delle prove, esperimenti fattoriali, effetti principali e interazioni, blocc orie e frazionamenti e loro implicazioni.

BIBLIOGRAFIA

Richard A. Johnson, *Miller and Freund's Probability and statistics for engineers*, Prentice-Hall.

ESAME

Si ricorda che gli appelli di esame sono divisi in cinque sessioni e che il periodo "naturale" di valutazione per il corso di *Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici* va dal 19-6-1995 al 29-7-1995; in suddetto periodo vi sono due sessioni di esami (la terza dal 19-6-1995 all'1-7-1995 e la quarta dal 3-7-1995 al 29-7-1995).

L'esame consiste in una prova scritta ed una orale, che devono essere sostenute nello stesso appello (eccezionalmente nel periodo di valutazione compreso tra il 19-6-1995 e il 29-7-1995 è consentito sostenere la prova scritta e la prova orale in appelli diversi). I candidati che lo desiderino possono optare per un esame esclusivamente basato su una prova scritta: in tal caso il voto finale d'esame non potrà superare i 26/30.

Lo studente può presentarsi alla prova scritta una volta per sessione; è necessario prenotarsi preventivamente all'appello, consegnando lo statino presso la Segreteria Didattica del Dipartimento, entro la data che verrà di volta in volta comunicata. Se la prenotazione non viene disdetta, lo studente viene considerato come presente.

Durante le prove scritte lo studente può utilizzare gli appunti del corso, il libro di testo, le tavole e le macchine calcolatrici.

Se lo studente non si ritira entro la mezz'ora che precede il termine per la consegna della prova scritta, l'esito dell'esame verrà comunque registrato.

L'orale non può essere sostenuto se la prova scritta risulta insufficiente e l'eventuale esito negativo della prova orale comporta la ripetizione della prova scritta in una successiva sessione.

H3770 Modelli per l'organizzazione e la gestione di sistemi

Anno:periodo X:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Maria Franca Norese

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

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.

H3800 Modellistica e identificazione

Anno:periodo X:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); 80+20 (nell'intero periodo)

Docente: Vito Mauro

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

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.

H3850 Oleodinamica e pneumatica

Anno: periodo X:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4+8 (ore settimanali)

Docente: Nicola Nervegna

Il corso si propone di fornire agli allievi le conoscenze di base necessarie per l'utilizzo, la scelta e la progettazione di sistemi e componenti oleodinamici e pneumatici di potenza e regolazione applicati su impianti fissi e mobili (impianti industriali, macchine utensili, veicoli). Partendo da una analisi qualitativa dei sistemi (gruppi di alimentazione e di utilizzazione) tramite l'impiego dei blocchi funzionali si giunge ad uno studio quantitativo e alla successiva conoscenza ed analisi dettagliata dei componenti.

REQUISITI. *Meccanica dei fluidi, Macchine, Controlli automatici.*

PROGRAMMA

I. Analisi funzionale dei sistemi oleodinamici. [26 ore]

Trasformazioni energetiche nei sistemi oleodinamici. Analisi qualitativa: schemi circuitali normati (ISO/UNI). Analisi quantitativa: i modelli matematici. Un traduttore oggettivo: i blocchi funzionali.

Gruppo di alimentazione a portata costante (GAQF). Analisi con i blocchi funzionali, deduzione della caratteristica portata–pressione (Q - p) del gruppo all'interfaccia con l'utenza. Variante al GAQF con limitatrice pilotata e distributore di "vent". Soluzioni con valvole modulari a due vie.

Gruppo di alimentazione a portata variabile per valori discreti (GAQVD). Schema a blocchi funzionali nelle varie condizioni di possibile funzionamento. Deduzione della caratteristica. Studio dei rendimenti. Pilotaggio diretto e remoto nella limitatrice di pressione. Variante al GAQVD e riflessi sul rendimento.

Gruppo di alimentazione a portata variabile per valori continui (GAQYC). Pompa a cilindrata variabile con variazione manuale della cilindrata: caratteristica ($Q-p$) in confronto con unità a portata costante.

Gruppo di alimentazione per utenza in circuito chiuso. Schema circuitale e analisi dei componenti: pompa di sovralimentazione, valvola a pendolo, livelli di taratura delle limitatrici di pressione.

Gruppo di alimentazione a pressione fissa vera (GAPFV). Pompa con limitatore assoluto di pressione.

Gruppo di alimentazione a pressione fissa approssimata (GAPFA). Caratteristica verso l'utenza e rendimenti. Schemi circuitali e analisi del funzionamento con riferimento alla valvola di esclusione. Gruppi di alimentazione con utenze multiple. Uscite indipendenti, parallele, confluenti. Circuito di base per lo studio di martinetti a semplice e doppio effetto. Analisi con blocchi funzionali. Caratteristica meccanica. Configurazioni di centro del distributore. Evoluzione del circuito per inversioni di velocità e carico e per la protezione da sovrappressioni e depressioni. Caratteristica meccanica (F,v) per carichi resistenti e trascinanti. Impiego di valvole di controbilanciamento (VCB): blocchi funzionali e caratteristiche nel piano (p,F) e ($v-F$). Impiego di valvole overcenter (OVC): blocchi funzionali e caratteristiche nel piano (p,F) e ($v-F$). Analisi dinamica e problemi di ottimizzazione. Regolazione della velocità.

Circuito rigenerativo con martinetto differenziale. Il principio della rigenerazione. Schema circuitale e sua semplificazione. Studio con i blocchi funzionali e deduzione della caratteristica meccanica dell'attuatore lineare.

Collegamenti multipli tra attuatori lineari tramite valvole di controllo della direzione a 6 bocche: parallelo, *tandem*, serie. Vincoli operativi.

Analisi delle priorità: valvola di sequenza; valvola di priorità.

Circuito per martinetto differenziale con selezione automatica della fase rigenerativa. Blocchi funzionali e piani caratteristici (p,F) e (v,F). Analisi del rendimento.

I controlli direzionali compensati. Sistema di riferimento con controllo non compensato. Piano energetico e di controllabilità. Primo e secondo controllo compensato con pompa a cilindrata variabile e 8 cilindrata fissa.

La distribuzione controllata. Schema multiutenza *load-sensing* (LS) senza e con compensazione locale. Riflessioni relative alla taratura dei compensatori locali in relazione alla taratura del limitatore differenziale della pompa LS. Analisi energetiche e di controllabilità.

Circuiti per sequenze, circuiti di sincronismo. Il divisore di flusso; il martinetto dosatore.

Gruppi di utilizzazione con attuatori rotativi: motori idraulici a cilindrata fissa e variabile; dispositivi e controlli della variazione di cilindrata. Caratteristica meccanica. Motore a cilindrata variabile con azionamento manuale e ad un verso di flusso. Caratteristica meccanica. Motore con limitatore assoluto di pressione: blocchi funzionali e caratteristica nel piano (Q,p). Collegamenti multipli per motori idraulici. Gruppi trasformatori, con elementi ad albero comune: ad una bocca ed a due bocche verso l'utenza analogia funzionale al divisore di flusso; considerazioni energetiche e blocchi funzionali. Banco prova rigenerativo: principio applicativo e blocchi funzionali.

Servosistemi: principi relativi ai servosistemi. Retroazione meccanica di posizione: idrocopiatore. Retroazione volumetrica – meccanica di posizione: idroguida; studio delle sezioni costruttive del distributore rotante e del motore/pompa orbitale. Soluzioni reattive, non reattive e *load-sensing*.

2. Fluidi utilizzati e componenti collegati. [6 ore]

Il fluido di lavoro: ideale e reale, scopi e specifiche.

Classificazione ISO: viscosità dinamica e cinematica, viscosimetri. Diagramma viscosità cinematica – temperatura. Equazione di stato linearizzata. Comprimibilità e modulo di comprimibilità. Comprimibilità equivalente del sistema contenitore – fluido

– aria separata. Modulo di comprimibilità di tubo in parte sottile.

La contaminazione del fluido, insorgenza e natura del contaminante, la filtrazione: prova ISO *Multipass*, rapporto di filtrazione. Potere assoluto di filtrazione. Normativa. Il condizionamento termico del fluido. Bilancio termico e valutazione della potenza persa.

I conduttori del fluido: rigidi e flessibili. Velocità di propagazione delle piccole perturbazioni. Studio delle portate di fuga in meati laminari. Materiali e funzionamento di guarnizioni e tenute.

3. *Componenti di controllo.* [18 ore]

Valvole di controllo della direzione. Classificazione. Distributori a posizionamento discreto e continuo. Studio delle configurazioni di centro. Definizione di ricoprimento, matrice dei ricoprimenti, ricoprimento dinamico. Equilibramento radiale dei cassettei. Trattazione delle forze di flusso: contributo azionario e dinamico. Rendimento in pressione ed in portata di un distributore a posizionamento discreto. Distributori a potenziamento continuo, geometria, azionamento, caratteristiche.

Valvole proporzionali e servovalvole. Azionamento con manipolatore. Azionamento elettrico con il *torque-motor*. Confronto tra specifiche e prestazioni di valvole proporzionali e servovalvole. Funzionamento nella soluzione a *flapper* e a *jet pipe*. Servovalvole a più stadi. Modello matematico di distributore con cassetto a posizionamento continuo.

Valvole di controllo della pressione. Limitatrice a comando diretto. Valvola limitatrice di pressione con stadio pilota. Valvola riduttrice di pressione a comando diretto. Confronto tra soluzioni dirette e pilotate.

Valvole regolatrici di portata. Strozzatore semplice, regolatori di portata a due e a tre vie. Caratteristiche stazionarie.

4. *Organi operatori e motori.* [14 ore]

Pompe volumetriche. Caratteristiche ideali, analisi della portata e della coppia istantanea. Irregolarità di portata. *Ripple* di pressione. Studio delle caratteristiche reali. Rendimento idraulico, meccanico, volumetrico. Modelli teorici e semi-empirici di rendimento: modello di Wilson. Modelli di perdita di portata e di doppia Classificazione delle pompe. Variazione della cilindrata. Compensazione dei giochi ed equilibramento radiale.

Accumulatori di fluido. Classificazione ed impiego. Dimensionamento adiabatico e isoterma con approssimazione a gas perfetto.

Motori oleodinamici. Tempo di accelerazione e gradiente di potenza. Classificazione dei motori. Caratteristiche.

Attuatori lineari. Analisi del rendimento e modello di perdita per attrito. *Stick-slip*.

5. *Analisi funzionale dei sistemi pneumatici.*

Componenti pneumatici. Oleopneumatica. [8 ore]

Gruppo di generazione a pressione costante. Cenni sui compressori. Dimensionamento del serbatoio. Separatori di condensa e lubrificatori.

Gruppi di utilizzazione pneumatici. Comandi fondamentali di martinetti e motori. Applicazioni dei pilotaggi. Calcolo delle prestazioni dei ritardi in riempimento e scarico. Richiami sulle caratteristiche degli ugelli in funzionamento critico e subcritico. Caratteristiche stazionarie di valvola riduttrice di pressione. Analisi dinamica di un martinetto con strozzatori all'ammissione e allo scarico. Analisi grafica del funzionamento stazionario. Cenni sulla risposta a variazioni di carico.

Analisi dei motori pneumatici. Studio del ciclo di lavoro e calcolo della massa d'aria per ciclo. Descrizione dei componenti reali. Reversibilità. Classificazione e caratteristiche delle regolazioni.

Schemi costruttivi di componenti pneumatici. Circuiti oleopneumatici. Principi di

controllo della velocità e della posizione. Scambiatore di pressione. Moltiplicatore di pressione. Cilindro oleopneumatico. Schemi circuitali. Presse oleopneumatiche e metodi realizzativi del principio del consenso bimanuale.

ESERCITAZIONI. [40 ore]

(Cfr. il programma delle lezioni)

Normativa ISO/UNI sui simboli grafici.

Circuito oleodinamico elementare: calcolo della potenza assorbita, costruzione dei diagrammi (p,F) e (v,F).

Studio del primo circuito della centralina didattica di laboratorio.

Confronto tra attuatori collegati in serie e in parallelo.

Regolazione in velocità dei martinetti.

Effetto di moltiplicazione della pressione in un martinetto differenziale.

Studio del secondo e terzo circuito della centralina didattica.

Gruppo di alimentazione a pressione fissa approssimata: *a*) con pressostato e limitatrice di pressione, *b*) con valvola di scarico (descrizione e funzionamento).

Regolazione in velocità del motore oleodinamico.

Banco freno.

Sistemi *load-sensing* (LS): esempio di applicazione e caso del carrello elevatore.

Studio del circuito LS, risparmio energetico, controllo in velocità degli attuatori.

Descrizione e funzionamento della pompa a stantuffi radiali con controllo LS e valvola di priorità. Saturazione.

Introduzione alle trasmissioni idrostatiche (TI). Confronto delle TI a circuito aperto e a circuito chiuso. TI a coppia e a potenza costante. Progetto di TI: selezione e configurazione. TI a pressione determinata.

Controllo automobilistico e di velocità.

Trasmissione Denison in circuito chiuso: descrizione e funzionamento.

Esempi di valvole di regolazione della pressione e della portata.

Valvole di sequenza, di scarico, di riduzione della pressione, di non ritorno.

Divisore / ricombinatore di flusso, valvola limitatrice di pressione proporzionale, valvola di controbilanciamento, valvole regolatrici di portata a 2 e 3 vie, pompa ad ingranaggi esterni.

LABORATORIO. [8 ore]

Centralina didattica. Rilievo delle prestazioni di circuiti oleodinamici. Controllo della velocità di rotazione di motori a cilindrata fissa mediante strozzatore variabile o regolatore di portata.

Banco prova distributori proporzionali ed idroguida *load-sensing*.

Smontaggio ed esame critico di particolari costruttivi di componenti oleodinamici presenti nel banco *load-sensing* (distributore proporzionale PVG60, valvola di priorità, idroguida LS, pompa VPA 40 LS a pistoni radiali).

Smontaggio ed esame critico di particolari costruttivi di componenti oleodinamici (valvole Abex, Denison, Hagglunds e Fluid Controls di pressione e di portata, motori orbitali, a pistoni assiali, a palette, pompe ad ingranaggi esterni).

Rilievo delle caratteristiche stazionarie e dinamiche di servovalvole elettroidrauliche.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

Oleodinamica e pneumatica, appunti di supporto al corso, predisposti dal docente, aggiornati e riveduti ogni anno e con circolazione limitata agli allievi.

Testi ausiliari per approfondimenti:

Vengono segnalati di anno in anno nel testo di riferimento.

ESAME. Orale, sugli argomenti svolti e proposti a lezione, esercitazione in aula e nelle esperienze di laboratorio

H4550 Ricerca operativa

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Roberto Tadei (collab.: Federico Della Croce)

La ricerca operativa consiste nella costruzione di modelli razionali per la rappresentazione di problemi complessi e dei relativi algoritmi risolutivi.

Il corso si propone di dotare lo studente degli strumenti di base per modellizzare e risolvere una serie di problemi propri dell'ingegneria informatica e automatica, elettronica e delle telecomunicazioni.

La modellizzazione del problema consiste nella formulazione dello stesso in termini di programmazione matematica, cioè individuazione di funzione obiettivo da minimizzare o massimizzare e relativi vincoli, mentre la sua risoluzione consiste nella ricerca del minimo o del massimo nel rispetto dei vincoli e richiede l'utilizzo di algoritmi di calcolo. Per tutti i problemi trattati nel corso verranno presentati gli algoritmi più recenti, alcuni oggetto di ricerca presso il Dipartimento, con particolare attenzione alla loro complessità computazionale.

Durante il corso verranno proposte agli studenti tesine di ricerca attinenti agli argomenti trattati. Il corso (dispense, comunicazioni, tesi e tesine, seminari, collegamenti con altri centri di studio ecc.) sarà disponibile all'interno del servizio Ulisse.

PROGRAMMA

Aspetti di base della programmazione lineare. [4 ore]

Modellizzazione del problema. [16 ore]

Metodo del simplesso. [16 ore]

Dualità. [12 ore]

Trasporti. [12 ore]

Flussi su rete. [18 ore]

Algoritmo proiettivo per la programmazione lineare (o di Karmarkar). [8 ore]

Cenni di programmazione intera. [10 ore]

Cenni di programmazione multi-obiettivo e multi-livello. [8 ore]

ESERCITAZIONI

Per ciascuno dei punti del programma delle lezioni verranno svolte esercitazioni in aula (alcune anche presso il LAIB, con utilizzo di *software* di programmazione matematica). Particolare attenzione sarà rivolta alla costruzione del modello matematico partendo da problemi reali.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

Dispense del corso.

Testi ausiliari, per approfondimenti:

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

F. Maffioli, *Elementi di programmazione matematica. Vol. 1-2*, Masson, Milano, 1990.

S. Martello, D. Vigo, *Esercizi di ricerca operativa*, Progetto Leonardo, Bologna, 1994.

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

F. Pezzella, E. Faggioli, *Ricerca operativa : problemi ed applicazioni aziendali*, CLUA, Ancona, 1993.

L. Poiaga, *Ricerca operativa per il management e il project management*, UNICOPLI, Milano, 1994.

ESAME

Il corso prevede due esoneri scritti durante il semestre, della durata di 2 ore ciascuno. Il

superamento di entrambe gli esoneri può sostituire l'esame finale orale. In questo caso il voto finale si ottiene combinando i risultati dei due esoneri, pesati in funzione del programma del corso, misurato in ore, coperto da ciascun esonero. Lo studente che volesse migliorare il risultato del I e/o del II esonero può sostenere l'esame orale relativamente al programma coperto dall'esonero stesso. In tale caso il risultato dell'esonero viene dimenticato. Gli esoneri hanno una validità temporale che coincide con l'anno accademico nel quale sono stati svolti.

Regole di esonero: al termine di ogni esonero viene effettuata la relativa correzione in aula e lo studente può decidere se ritirarsi o meno dall'esonero. Si individuano situazioni diverse con riferimento ai due esoneri.

I esonero. Lo studente decide di ritirarsi: in tal caso può sostenere il secondo esonero e dovrà sottoporsi all'esame orale relativo alla prima parte del corso. Lo studente decide di non ritirarsi: se l'esonero viene superato lo studente potrà svolgere il secondo esonero, diversamente dovrà sottoporsi all'esame orale relativo all'intero corso, a partire dal primo appello dopo la conclusione del corso.

II esonero. Lo studente decide di ritirarsi: in tal caso dovrà sottoporsi all'esame orale relativo alla seconda parte del corso, a partire dal primo appello dopo la conclusione del corso. Lo studente decide di non ritirarsi: se l'esonero viene superato lo studente può sostituire l'esame orale con i due esoneri superati, diversamente dovrà sottoporsi all'esame orale relativo alla seconda parte, a partire dal terzo appello dopo la conclusione del corso.

Le tesine di ricerca danno diritto ad un incremento fino a 4 punti del voto finale, in funzione della qualità del lavoro di ricerca svolto.

H4580 Robotica industriale

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2+1 (ore settimanali)

Docente: Basilio Bona (collab.: Marina Indri)

Il *robot* è un'apparecchiatura complessa sia sotto l'aspetto meccanico, sia sotto l'aspetto del controllo; per la comprensione e la soluzione delle problematiche di gestione e controllo dei *robot* sono necessarie conoscenze integrate di tipo automatico, informatico e meccanico.

Il corso ha l'obiettivo principale di introdurre le moderne tecniche di controllo dei *robot* industriali, presentando sia le tecniche adottate a livello industriale sia alcune metodologie di controllo avanzato, utili in generale anche per la soluzione di problemi di controllo non strettamente legati al settore della robotica. A questo fine fornisce agli studenti le basi fisico-matematiche di cinematica, statica e dinamica, che permettono di giungere alla definizione del modello dinamico del robot industriale.

Data la natura di base del corso, non sono previsti argomenti legati alla robotica avanzata (*robot* mobili, organi di manipolazione, intelligenza artificiale, sensori di visione, ecc.).

Il corso non si rivolge soltanto a quanti sono strettamente interessati alla robotica industriale, ma possiede un carattere generale, in quanto presenta, applicandole ad una struttura elettromeccanica complessa, una serie di metodologie e di tecniche utili anche per coloro che si occuperanno di automatica e controlli in senso lato.

REQUISITI

Per le lezioni: sicuramente importante una conoscenza "attiva" di algebra lineare; vettori, matrici, spazi lineari, basi, trasformazioni, determinanti, autovalori, autovettori, e tutto quanto il bagaglio solito. È certamente importante una predisposizione alla

comprensione dei fenomeni fisici, soprattutto elettromeccanici, ed una certa capacità di comprendere concetti geometrici di difficile visualizzazione, come le roto-traslazioni tridimensionali, di cui si parlerà molto nella prima parte del corso. Per quanto riguarda la parte di controllo, non è richiesta alcuna conoscenza particolare, se non quella acquisita ai corsi di *Controlli automatici* (generale o speciale). Si darà per acquisita la conoscenza dei motori in corrente continua, visti come modello dinamico di trasformazione tra tensione e spostamento.

Per le esercitazioni sperimentali: è richiesta una conoscenza di base dei linguaggi MATLAB, SIMULINK e C (che non verranno spiegati), nonché una certa predisposizione (o la volontà di imparare) a lavorare su apparecchiature "delicate" e costose, che richiedono una certa attenzione da parte di chi le usa.

PROGRAMMA. [78 ore]

I Parte. [36 ore]

Geometria delle rototraslazioni. [12 ore]

Sistemi di riferimento, rotazioni, traslazioni, rappresentazioni della rotazione (matrici ortonormali, parametri di Eulero, quaternioni, vettori di Eulero e di Rodrigues), rappresentazioni della rototraslazione di un corpo rigido, matrici omogenee.

Cinematica. [12 ore]

Convenzioni di Denavit–Hartenberg, funzione cinematica diretta e inversa della posizione, funzione cinematica diretta e inversa della velocità, jacobiano e sue proprietà, singolarità cinematiche.

Statica. [4 ore]

Relazione statica tra forza esterne applicate e momenti ai giunti, jacobiano trasposto e sue proprietà, elasticità della struttura.

Dinamica. [8 ore]

Momento della quantità di moto, tensori di inerzia, equazioni di Newton–Eulero, equazioni di Lagrange, equazione dinamica del *robot* rigido, proprietà delle matrici d'inerzia e dei termini non lineari, passività.

II Parte. [42 ore]

Pianificazione della traiettoria. [6 ore]

Impostazione del problema, pianificazione mediante coordinata curvilinea, pianificazione trapezoidale della velocità, pianificazione coordinata, pianificazione cartesiana, pianificazione dell'assetto.

Controllo lineare. [8 ore]

Controllo a giunti indipendenti, problematiche dovute alla non linearità e variabilità nel tempo dei parametri dinamici.

Controllo non lineare. [12 ore]

Controllo di coppia calcolata, linearizzazione globale esatta ingresso–uscita, linearizzazione approssimata, controllo robustificante.

Controllo di forza. [6 ore]

Interazione del *robot* con l'ambiente esterno, vincoli cinematici, controllo di rigidità a uno e più gradi di libertà, controllo mediante retroazione di forza, controllo di impedenza, impostazione e problematiche del controllo ibrido forza / posizione.

Controllo adattativo. [10 ore]

Illustrazione di tecniche di controllo adattativo basate sulla coppia calcolata e sulla conservazione della proprietà di passività, analisi della stabilità mediante funzione di Liapunov.

ESERCITAZIONI. [26 ore]

Le esercitazioni in aula svolgeranno esempi numerici relativi alle varie tecniche spiegate a lezione, con particolare attenzione a quegli aspetti che saranno argomento dell'esame. Durante le esercitazioni verranno illustrati alcuni temi d'esame passati per evidenziarne l'impostazione generale ed il tipo di risposta attesa.

LABORATORIO. [12 ore]

Nell'anno accademico 1995/96 saranno svolte per la prima volta esercitazioni sperimentali presso il LADISPE. Verrà utilizzato un manipolatore planare controllato da una scheda DSP montata su un PC. Gli studenti, dopo aver eseguito alcune esercitazioni di base (movimento del manipolatore nello spazio dei giunti, nello spazio cartesiano, raccolta dati ed esperimenti vari di monitoraggio e tracciamento di grafici) dovranno progettare e realizzare semplici leggi di controllo digitale.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

Sono quasi pronti gli appunti preparati dal docente sulla base dei corsi precedenti. Verranno distribuiti a lezione intorno alla metà di novembre.

Testi ausiliari:

F.L. Lewis, C.T. Abdallah, D.M. Dawson, *Control of robot manipulators*, MacMillan, 1993.

K.S. Fu, R.C. Gonzalez, C.S.G. Lee, *Robotics : control, sensing, vision, and intelligence*, McGraw-Hill (edizione italiana), 1989.

M.W. Spong, M.Vidyasagar, *Robot dynamics and control*, Wiley, 1989.

H. Asada e J.-J.E. Slotine, *Robot analysis and control*, Wiley, 1986.

ESAME

Gli esami sono scritti. Non è prevista alcuna prova integrativa orale.

Gli studenti, in un tempo massimo di due ore, devono rispondere a tre domande, articolate in sotto-domande; ogni domanda comporta un punteggio massimo di 10 punti. Il punteggio totale, ottenuto come somma dei punteggi parziali, viene moltiplicato per 35/30 ed il risultato, arrotondato all'intero più vicino, rappresenta il voto finale dell'esame.

Lo studente ha facoltà di ritirarsi in qualsiasi momento durante lo svolgimento della prova oppure di non consegnare l'elaborato (talvolta viene concesso anche un breve periodo di "ripensamento" successivo alla consegna). In tale caso lo studente può ripresentarsi in qualsiasi momento nei successivi esami. Qualora invece l'elaborato d'esame venga corretto dal docente, lo studente può rifiutare il voto, ma in tale caso non potrà presentarsi alla prova scritta immediatamente successiva nella stessa sessione.

Non è prevista la correzione in aula dei compiti; questi verranno mostrati agli studenti che ne faranno richiesta all'atto della registrazione dell'esame.

Gli elaborati vengono conservati per cinque anni.

La raccolta dei temi d'esame degli anni precedenti sarà disponibile a partire dal mese di dicembre 1995.

H4700 Sensori e trasduttori

Anno:periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2+4 (ore settimanali)

Docente: Andrea De Marchi

PROGRAMMA

1. Introduzione.

Classificazione, caratteristiche e terminologia, grandezze di influenza, criteri di scelta.

2. Caratterizzazione metrologica.

Propagazione degli errori, analisi dell'incertezza, analisi spettrale, processi di rumore e derive, stima della stabilità.

3. Sensoristica tradizionale.

Strain gauge, termometria, piezometria, sensori fotovoltaici, rivelatori di radiazioni nucleari.

4. Condizionamento di segnale.

Circuiti per sensori resistivi, circuiti per sensori capacitivi ed induttivi, circuiti per sensori numerici.

5. Sensori ottici.

Principi di funzionamento, sorgenti di radiazione, canali di trasmissione, rivelatori di radiazione.

6. Nuove tecnologie.

Sensori a polimeri piezoelettrici, sensori a risonatori acustici, sensori a *film* spesso, sensori a *film* sottile, microsensori al silicio, *micro-machining*, sensori intelligenti, *remote sensing*.

7. Sensoristica per la qualità della vita.

Biosensori, sensori chimici, sensori di rumore acustico.

8. Sensoristica per l'industria ed i controlli.

Posizione, velocità lineare, accelerazione e vibrazione, angolo, velocità ed accelerazione angolare, forza e torsione, flusso, livello, prossimità e presenza, viscosità e densità.

H4880 Sistemi di elaborazione

Anno:periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2+2 (ore settimanali)

Docente: Elena Baralis

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 di *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

Evoluzione tecnologica. [4 ore]

Evoluzione delle tecnologie *hardware*: unità centrali di elaborazione, dispositivi periferici. Evoluzione delle tecnologie *software*: caratteristiche, criteri di impiego e diversi aspetti dei sistemi operativi e del *software* di base.

Sistemi operativi. [6 ore]

Tipi di sistema operativo. Gestione della memoria. Gestione dei processi. Sicurezza e protezione delle risorse.

Architetture. [6 ore]

Potenza di calcolo. Architetture RISC, CISC. Architetture parallele. Architetture vettoriali.

Basi di dati. [30 ore]

Modello concettuale dei dati: modello *entità - relazione*. Modelli logici dei dati: modello relazionale, modello gerarchico e modello reticolare. Tecniche di progettazione concettuale e logica di una base di dati. Cenni di teoria della normalizzazione. Il linguaggio SQL: istruzioni per la definizione e l'elaborazione dei dati. Sistemi per la gestione delle transazioni. Gestione dei problemi dovuti a malfunzionamento.

Reti di calcolatori. [14 ore]

Servizi di rete. Supporti fisici per il collegamento. Collegamenti punto-punto: *modem*. Modello ISO/OSI. Reti locali (LAN): Ethernet, *token ring*, FDDI. Reti metropolitane (MAN) e reti geografiche (WAN).

ESERCITAZIONI

Esercizi di progettazione concettuale e logica di basi di dati.

Esercizi sul linguaggio SQL.

Descrizione delle caratteristiche degli applicativi utilizzati in laboratorio.

LABORATORIO

(Esercitazioni su *personal computer*)

Sviluppo di piccole applicazioni in ambiente di sviluppo orientato agli oggetti.

Accesso ad una base di dati relazionale mediante interfaccia SQL.

Uso di strumenti per l'automazione d'ufficio, quali foglio elettronico.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

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

Testi ausiliari:

D.N. Chorafas, *Systems architecture and systems design*, McGraw-Hill, New York, 1989.

C. Batini, S. Ceri, S. Navathe, *Conceptual database design : an entity - relationship approach*, Benjamin-Cummings, 1992.

C.J. Date, *An introduction to database systems*, Addison-Wesley, 1991.

A.S. Tanenbaum, *Computer networks*, Prentice-Hall, 1988.

ESAME. Prova scritta e prova orale.

H5175 **Statistica aziendale + Marketing industriale** (Corso integrato)

Anno:periodo X:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali); 56+56 (nell'intero periodo)
Docenti: Roberto Corradetti, Giorgio Pellicelli

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 interattiva, comunicazione collettiva.

La comunicazione integrata.

Il *marketing* strategico nei servizi.

Le indagini al servizio della comunicazione d'impresa.

Studio di casi: analisi di alcune campagne pubblicitarie.

H5240 **Strumentazione biomedica**

Anno:periodo 5:1
Docente: Roberto Merletti

PROGRAMMA

Elementi di fisiologia. [20 ore]

Elettrofisiologia della membrana cellulare, trasporto attivo e passivo, potenziale d'azione. Tessuti eccitabili e trasmissione della informazione lungo fibre nervose e muscolari. Il sistema neuromuscolare, l'unità motoria, il segnale mioelettrico. Tecniche invasive e non invasive di rilevamento del segnale mioelettrico. Elettrofisiologia cardiaca. Significato e interpretazione del segnale elettrocardiografico. Il sistema circolatorio, il cuore come pompa, forme d'onda di pressione, suoni cardiaci. Cenni ai sistemi respiratorio e renale

Applicazioni biomediche di sensori e trasduttori. [20 ore]

Applicazioni biomediche di sensori e trasduttori resistivi, induttivi, capacitivi, piezoelettrici, ottici, ecc. Problemi di linearizzazione e compensazione. Sensori elettrochimici, elettrodi polarizzabili e non, microelettrodi, elettrodi per pH. Elettrodi per applicazione di stimoli e prelievo di segnali sulla cute.

Strumentazione biomedica. [40 ore]

Elettrocardiografi e *monitors* ECG. Condizionamento del segnale, riduzione di interferenze e disturbi. Cardiotacometri. *Monitors* di aritmie. Elettrocardiografia dinamica. Stimolazione elettrica del cuore e *pacemakers*. Misure invasive e non invasive di pres-

sione ematica. Cateterismi cardiaci, misure di gittata e portata cardiaca. Flussimetria ematica, flussimetri elettromagnetici e ultrasonici direzionali e non. Defibrillatori cardiaci. Elettromiografi ed elettroencefalografi. Elettrobisturi: criteri di sicurezza. Apparecchiature per analisi ematiche e chimico-cliniche. Contaglobuli. Apparecchiature radiologiche e per tomografia. Tecniche di ricostruzione delle immagini TAC. Cenni alle apparecchiature per ecografia e risonanza magnetica nucleare. Sicurezza degli impianti elettrici nei locali adibiti ad uso medico. Sicurezza e tipologia della strumentazione biomedica.

BIBLIOGRAFIA

J. Webster (ed.), *Medical instrumentation : application and design*, Houghton MiMin Co., Boston.

H5260 Strumentazione e misure elettroniche

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4++4 (ore settimanali)

Docente: Umberto Pisani

Il corso è rivolto agli allievi ingegneri che intendono familiarizzare con i moderni sistemi di misura controllati da elaboratori elettronici. Saranno esaminate inoltre le problematiche connesse all'acquisizione dati mediante sistemi su scheda, e su moduli integrati in sistemi automatici di collaudo (ATE).

REQUISITI. Sono date per scontate le conoscenze dei fondamenti della misurazione, della teoria degli errori, e dei metodi e strumenti di base delle misure elettroniche.

PROGRAMMA

1. La misura di grandezze fisiche mediante sensori e trasduttori. L'acquisizione di segnali analogici: generalità, problematiche e architetture. [2 ore]

Sensori e trasduttori: caratteristiche essenziali e principi di funzionamento dei sensori più diffusi, condizionamento. [2 ore]

Esempio di linearizzazione di un termistore e progetto di sistema per la misura di temperatura, sorgenti di errore e loro valutazione. [4 ore]

2. Acquisizione multicanale: aspetti progettuali, *scanner*, filtri, circuiti di campionamento e conversione A / D, sorgenti di incertezze, di disturbi e tecniche per la riduzione degli effetti, disposizione delle masse. [4 ore]

3. *Bus standard* per strumentazione. Sistemi automatizzati di misura e problemi di interfacciamento. [3 ore]

L'interfaccia *standard* per strumentazione IEEE-488: generalità, architettura, caratteristiche meccaniche elettriche e funzionali. [3 ore]

Il *bus* IEEE-488, gestione del trasferimento dati, comandi di interfaccia e messaggi *device dependent*. [3 ore]

Indirizzamenti e richieste di servizio, procedure di *polling*. [4 ore]

Le funzioni di interfaccia e analisi di alcune di esse mediante i diagrammi di stato. [4 ore]

Aspetti operativi e standardizzazione dei codici e formati (Std. IEEE-488.2). [3 ore]

Problemi e tecniche per l'ottimizzazione di un sistema automatizzato di misura. [3 ore]

Standard CAMAC per strumentazione e controllo di processi. [4 ore]

Esempio di interfaccia seriale per strumentazione e periferiche HP-IL. [3 ore]

Cenni alla strumentazione su scheda VME e strumentazione VXI. [2 ore]

4. Strumentazione moderna per sistemi di misura automatici:

- oscilloscopi digitali; [6 ore]
- analizzatori logici; [2 ore]
- analizzatori di reti (cenni) e analizzatori di spettro. [2 ore]

5. Cenni ai sistemi automatici di collaudo (ATE).

Generalità sul collaudo *in circuit* di schede elettroniche:

- strategie di misura e collaudo; [2 ore]
- architettura dei sistemi. [2 ore]

ESERCITAZIONI. Si dedicheranno alcune ore durante l'orario delle lezioni allo svolgimento di esercizi di calcolo e di progetto relativi agli argomenti trattati sui sensori, condizionamento, e valutazioni della accuratezza dei sistemi di acquisizione.

LABORATORIO

Le esercitazioni di laboratorio sono svolte a gruppi di 4 allievi e hanno le caratteristiche di una tesina (compatibilmente col numero di iscritti al corso) con relazione da discutere in sede di esame.

Schede multifunzionali di I/O per acquisizione di segnali analogici e digitali mediante *personal computer*. [2 ore]

Il *software* LAB-VIEW, introduzione. [2 ore]

Progetto e realizzazione di uno strumento di misura virtuale basato su *software* LAB VIEW. [40 ore]

Titoli assegnati ai vari gruppi (uno per gruppo):

- tracciatore di caratteristiche di diodi e transistori;
- analizzatore di spettro a bassa frequenza;
- voltmetro vettoriale a due canali;
- multimetro digitale.

Sviluppo di programma per la gestione di strumentazione mediante l'interfaccia IEEE-488. [16 ore]

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

M.G. Mylroi, G. Calvert, *Measurement and instrumentation for control*, Peregrinus (IEE).

S. Pirani, *Sistemi automatici di misura e acquisizione dati IEEE-488.1*, Esculapio, Bologna, 1990.

Testi ausiliari, per approfondimenti:

Suggeriti durante il corso a seconda degli argomenti.

ESAME. Una prova scritta consistente in 5-6 esercizi riguardanti argomenti del corso ed una prova orale che comprende una discussione sulla tesina elaborata in esercitazione.

H5450 **Tecnica della sicurezza elettrica**

Anno/periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Vito Carrescia

Il corso intende fornire agli allievi i fondamenti della tecnica della sicurezza elettrica, cioè i modi con cui rendere sicuro per le persone l'uso dell'energia elettrica. Dopo una panoramica sugli effetti della corrente elettrica sul corpo umano si studiano i sistemi di protezione contro i contatti diretti e indiretti, con e senza interruzione automatica del circuito. Si affronta anche il problema della protezione delle condutture contro le sovracorrenti, della sicurezza dei circuiti di comando, del sezionamento, dei luoghi con pericolo di esplosione, delle radiazioni non ionizzanti.

REQUISITI. *Elettrotecnica*

PROGRAMMA

1. *Le basi legislative della sicurezza.*

Gli enti normatori nazionali e internazionali. La conformità alle norme degli apparecchi e degli impianti. Il diritto nazionale e internazionale nel settore elettrico. La marcatura CE. La legge 46/90 sulla sicurezza degli impianti. Il marchio di qualità. rapporto tra norme di legge e norme di buona tecnica. Applicabilità delle norme agli impianti preesistenti. Alcuni dati statistici sugli infortuni elettrici. [8 ore]

2. *Principi generali di sicurezza.*

Definizione di sicurezza e di rischio. Sicurezza di un sistema. Relazione tra sicurezza e affidabilità. Individuazione del livello di sicurezza accettabile. Il rischio indebito. L'errore umano. [4 ore]

3. *Brevi richiami di elettrofisiologia.*

Effetti pato-fisiologici della corrente elettrica sul corpo umano. Limiti di pericolosità della corrente elettrica. Resistenza elettrica del corpo umano. [4 ore]

4. *Il terreno come conduttore elettrico.*

La resistenza di terra. I potenziali sulla superficie del terreno. Dispersori in parallelo. Tensione totale e tensione di contatto a vuoto e a carico. [2 ore]

5. *Isolamento funzionale, principale, supplementare, rinforzato.*

Definizione di massa. Curva di sicurezza. Massa estranea. Classificazione dei sistemi elettrici in relazione alla tensione. [4 ore]

6. *Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TT.*

Necessità della protezione differenziale. L'equipotenzialità. Il relè di tensione. Il conduttore di neutro nei sistemi TT. [4 ore]

7. *Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TN.*

Rispetto della curva di sicurezza. Tensioni sul neutro. Il guasto non franco a terra. Reti pubbliche di distribuzione dell'energia: sistemi TT e TN. [4 ore]

8. *Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi IT.*

Sovratensioni per guasto resistivo e induttivo a terra. [2 ore]

9. *Protezione contro i contatti indiretti senza interruzione automatica del circuito.*

Trasformatore d'isolamento, apparecchi di classe seconda e di classe zero. [2 ore]

10. *Protezione contro i contatti indiretti in alta tensione.*

Dispersore profondo. Misura delle tensioni di contatto e di passo. Interfaccia con l'impianto di terra di bassa tensione. Messa a terra del neutro. Cenni all'esecuzione dell'impianto di terra. [4 ore]

11. *Protezione contro i contatti diretti: misure totali e parziali; passive e attive. Isolamento, barriere e involucri. Gradi di protezione IP. Protezione contro i contatti diretti offerta dagli interruttori differenziali.* [4 ore]

12. *Sistemi elettrici di categoria zero: bassissima tensione di sicurezza, di protezione e*

- funzionale. Confronto delle misure di protezione contro i contatti diretti e indiretti. Luoghi a maggior rischio elettrico, luoghi conduttori ristretti. [4 ore]
13. *Misure di protezioni particolari in ambiente medico.*
Microshock. Sicurezza delle apparecchiature elettromedicali. Elettrobisturi. [2 ore]
 14. *Sezionamento e comando.*
Comando d'emergenza. Comando funzionale. L'interruttore generale. Interruzione per motivi non elettrici. Circuiti di comando: sicurezza contro l'azionamento intempestivo. [4 ore]
 15. *Portata di un cavo.*
Curva di sovraccaricabilità di un cavo. Dispositivi di protezione di sovracorrente. Requisiti del dispositivo di protezione contro il sovraccarico. [4 ore]
 16. *Brevi richiami alla corrente di cortocircuito.*
Sollecitazioni termiche in condizioni di cortocircuito. Requisiti del dispositivo di protezione contro cortocircuito. [4 ore]
 17. *Applicazione dei dispositivi di protezione contro il sovraccarico ed il cortocircuito.*
Dispositivo di protezione unico e dispositivi distinti. Protezione contro le sovracorrenti nei sistemi TT, TN e IT. [4 ore]
 18. *Protezione dei motori contro il sovraccarico e il cortocircuito.*
Requisiti dell'alimentazione di sicurezza, con particolare riferimento all'illuminazione di sicurezza. [4 ore]
 19. *Classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione:*
individuazione dei centri di pericolo, delle condizioni di ventilazione, della estensione e qualifica delle zone AD. [4 ore]
 20. *Modi di protezione per le costruzioni elettriche da utilizzare in atmosfera esplosiva.*
Tipi di impianti elettrici a sicurezza. Scelta del tipo di impianto adatto alla zona AD. [4 ore]

ESERCITAZIONI

1. Progetto dell'impianto di terra di una stazione di trasformazione. [4 ore]
2. Confronto e analisi delle misure di protezione contro i contatti diretti e indiretti. [4 ore]
3. Misure della resistenza di terra e delle tensioni di contatto di passo in una officina elettrica dell'ENEL. [4 ore]
4. Determinazione della lunghezza massima protetta di un circuito protetto da un fusibile. [4 ore]
5. Visita ai laboratori dell'Istituto Italiano del Marchio di Qualità e del Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano, Milano. [8 ore]

BIBLIOGRAFIA

V. Carrescia, *Fondamenti di sicurezza elettrica*, Hoepli.

H5640 **Tecnologia meccanica**

Anno:periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Francesco Spirito

Scopo del corso è fornire l'insieme di nozioni necessarie a comprendere come possa essere prodotto ed utilizzato un particolare meccanico; studiare i fondamenti teorici dei processi di lavorazione con asportazione di materiale e per deformazione plastica.

REQUISITI. Si richiedono conoscenze di *Disegno meccanico*, *Scienza delle Costruzioni* e *Meccanica applicata*.

PROGRAMMA

Generalità. [6 ore]

Tipologie di industrie. Funzioni aziendali.
 Tipologie di *plant layout*. Automazione industriale
 Analisi dei tempi. Gestione degli *stock*.

Taglio dei metalli. [6 ore]

Relazione fra tensioni e deformazioni.
 Utensile elementare monotagliante.
 Meccanica della formazione del truciolo.
 Analisi delle forze di taglio. Criteri di plasticità.

Formazione del truciolo. [4 ore]

Angoli di spoglia. Spessore del trucioli.
 Larghezza e velocità di taglio. Tagliante di riporto.

Taglio tridimensionale. [5 ore]

Tornitura.
 Fresatura.
 Foratura.

Durata utensili e lavorabilità materiali metallici. [4 ore]

Durata degli utensili.
 Materiali e loro lavorabilità.

Azionamenti delle macchine utensili. [5 ore]

Motori elettrici. Cambi di velocità.
 Azionamenti oleodinamici. Organi di regolazione.

Macchine a CN. [6 ore]

Principi del comando numerico.
 Elementi di supporto alle informazioni.
 Unità di governo. Trasduttori di posizione.

Metodi fisici e chimici di lavorazione. [6 ore]

Elettroerosione. Fresatura chimica.
 Lavorazioni elettrochimiche.
 Lavorazioni ad ultrasuoni. Fascio elettronico.
 Lavorazioni con il plasma. Lavorazioni con il laser.

Lavorazioni per deformazione plastica. [6 ore]

Determinazione lavoro di deformazione.
 Estrusione. Trafilatura. Fucinatura e stampaggio. Laminazione.
 Lavorazione delle lamiere: tranciatura ed imbutitura.

ESERCITAZIONI

Macchine ad asportazione di truciolo. [2 ore]

Generalità. Azionamenti.

Cicli di lavorazione. [2 ore]

Generalità. Valutazione parametri di taglio.

Macchine per tornitura, foratura, fresatura, rettificatura, limatura, piallatura.

[4 ore x 6 = 24 ore tot.]

Tipologie di macchina. Analisi della macchina. Utensili per la lavorazione.

Cicli di lavorazione. [8 ore]

Analisi particolari da fabbricare. Stesura sequenza operazioni. Scelta delle macchine operatrici. Valutazione parametri di taglio.

LABORATORI*Macchina a CN.* [4 ore]

Analisi della macchina. Lavorazione di un particolare.

Costruzione di particolari con MU. [8 ore]

Analisi del particolare. Montaggio sulla macchina. Scelta parametri di taglio. Lavorazione e controlli.

BIBLIOGRAFIA

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

ESAME

Si articola in due parti: una prova scritta ed una prova orale. La prova scritta comprende argomenti di teoria ed esercizi di calcolo. Il raggiungimento di una valutazione sufficiente è essenziale per l'ammissione all'orale. Lo studente è guidato nella valutazione dell'elaborato da un peso assegnato ad ogni singolo esercizio. La parte fiscale dell'esame (consegna dello statino) ha inizio al momento in cui l'allievo consegna l'elaborato: pertanto è data ampia facoltà allo studente di ritirarsi in qualunque momento durante la prova scritta. La prova orale inizia con la discussione dell'elaborato e prosegue con un colloquio che può toccare argomenti dell'intero programma del corso.

H6000 Termotecnica

Anno: periodo X:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali); 60+35+12 (nell'intero periodo)

Docente: Antonio Maria Barbero

Il corso si pone l'obiettivo di fornire una formazione mirata alla gestione corretta, in termini energetici, ambientali ed economici, degli impianti utilizzati per la fornitura di energia termica ad utenze civili ed industriali. La formazione è quindi rivolta soprattutto a chi debba acquisire e gestire detti impianti, pur fornendo informazioni di carattere tecnologico specialistico e cenni di progettazione. Gli impianti che vengono trattati nel corso sono: generatori di vapore, caldaie ad acqua surriscaldata, forni, inceneritori. Il corso tende a fornire una visione critica e comparata del funzionamento di detti impianti, nell'ottica di chi debba fornire servizi di forniture energetiche in modo economico, sicuro e con il minor impatto ambientale possibile.

I principali temi trattati sono:

- interazione energia - ambiente;
- valutazioni economiche dell'uso degli impianti;
- descrizione della struttura e del funzionamento degli impianti;
- analisi energetica degli impianti;
- cenni di dimensionamento tecnico;
- modelli matematici per la previsione delle prestazioni energetiche.

Il corso, oltre alle lezioni in aula, prevede esercitazioni in laboratorio e visite esterne per fornire agli allievi, accanto alla formazione tecnica, una visione pratica delle problematiche impiantistiche.

Tavola alfabetica dei docenti

Docente (*dipartimento*) // codice : *corso* [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

Prof. **Andrea Abete** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 47 H3660 : *Misure elettriche* [4:1]

TEL 564'7120. Orario di ricevimento: mercoledì 14:30-18:30.

Prof. **Enrico Ballatore** (*Ing. strutturale*)

p. 36 H4600 : *Scienza delle costruzioni* [3:1]

Orario di ricevimento: viene indicato all'inizio di ogni periodo didattico. Durante lo svolgimento del corso vengono fissati due incontri collettivi per chiarimenti didattici di interesse generale.

Prof. **Elena Baralis** (*Ing. automatica e informatica*)

p. 108 H4880 : *Sistemi di elaborazione* [5:2]

TEL 564'7075, EM baralis@polito.it. Orario di ricevimento: giovedì 10:30-11:30.

Prof. **Antonio Maria Barbero** (*Energetica*)

p. 116 H6000 : *Termotecnica* [x:2]

Prof. **Giovanni Barbero** (*Fisica*)

p. 17 H1901 : *Fisica I* [1:2]

Prof. **Guido Belforte** (*Ing. meccanica*)

p. 65 H0350 : *Automazione a fluido* [x:1]

40 H3210 : *Meccanica applicata alle macchine* [3:2]

TEL 564'6926. Orario di ricevimento: mercoledì 10:30-12:30, salvo impegni.

Prof. **Cristina Bignardi** (*Ing. meccanica*)

p. 68 H0450 : *Biomeccanica* [5:2]

TEL 564'6944, EM bignardi@polito.it. Orario di ricevimento: esposto nella bacheca del Dipartimento.

Prof. **Basilio Bona** (*Ing. automatica e informatica*)

p. 105 H4580 : *Robotica industriale* [5:1]

TEL 564'7023, EM bona@polito.it. Orario di ricevimento: due ore alla settimana, in orario che verrà definito a lezione, oppure su appuntamento telefonico.

Prof. **Ottavia Borello Filisetti** (*Fisica*)

p. 17 H1901 : *Fisica I* [1:2]

Docente (*dipartimento*) // codice : *corso* [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

Prof. **Roberto Corradetti** (*Univ. degli studi di Torino*)

p. 110 H5175 : *Statistica aziendale + Marketing industriale* [x:2]

Prof. **Andrea De Marchi** (*Ing. elettronica*)

p. 108 H4700 : *Sensori e trasduttori* [5:1]

Prof. **Francesco Donati** (*Ing. automatica e informatica*)

p. 66 H0370 : *Automazione industriale* [5:1]

Prof. **Paolo Ferraris** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 45 H3130 : *Macchine elettriche* [4:1]

Prof. **Vincenzo Ferro** (*Energetica*)

p. 89 H2820 : *Impianti termotecnici* [5:2]

TEL 564'4417. Orario di ricevimento: da verificare presso la segreteria didattica del Dipartimento. (M. Masoero: TEL 564'4441).

Prof. **Giovanni Fiorio** (*Ing. automatica e informatica*)

p. 48 H0840 : *Controlli automatici* [4:1]

95 H3460 : *Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo* [5:2]

TEL 564'7019, EM fiorio@polito.it. Orario di ricevimento: venerdì 10:30-12:30.

Prof. **Giovanni Fraquelli** (*Sistemi di produzione ed economia dell'azienda*)

p. 25 H1530 : *Economia ed organizzazione aziendale* [2:1]

TEL 564'7269. Orario di ricevimento: lunedì 14:30-15:30.

Prof. **Silvio Greco** (*Matematica*)

p. 16 H2300 : *Geometria* [1:2]

Orario di ricevimento: sarà affisso in bacheca, a partire dalla seconda settimana di corso.

Prof. **Pietro Laface** (*Ing. automatica e informatica*)

p. 20 H2170 : *Fondamenti di informatica* [1:2]

Orario di ricevimento: è comunicato tramite avviso presso le bacheche del Dipartimento.

Prof. **Evasio Lavagno** (*Energetica*)

p. 81 H1830 : *Energetica e sistemi nucleari* [x:2]

92 H3090 : *Localizzazione dei sistemi energetici* [5:1]

Prof. **Mario Lazzari** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 56 H3780 : *Modellistica dei sistemi elettromeccanici* [5:1]

TEL 564'7119. Orario di ricevimento: martedì e venerdì, 8:30-10:30.

Docente (dipartimento) // codice : corso [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

Prof. **Enzo Buffa** (*Idraulica, trasporti e infrastrutture civili*)

p. 88 H 2800 : *Impianti speciali idraulici* [5:2]

Prof. **Luisella Caire** (*Matematica*)

p. 13 H 0231 : *Analisi matematica I* [1:1]

Prof. **Michele Cali Quaglia** (*Energetica*)

p. 79 H 1810 : *Energetica* [5:2]

26 H 2060 : *Fisica tecnica* [2:2]

TEL 564'4424, FAX 564'4499, EM cali@polito.it.

Prof. **Paolo Campanaro** (*Energetica*)

p. 50 H 3110 : *Macchine* [4:2]

Prof. **Giovanni Cantarella** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 84 H 2710 : *Impianti elettrici a media e bassa tensione* [5:2]

TEL 564'7109. Orario di ricevimento: martedì 16:30-18:30, venerdì 10:30-12:30.

Prof. **Donato Carlucci** (*Ing. automatica e informatica*)

p. 69 H 0850 : *Controllo dei processi* [x:1]

Prof. **Enrico Carpaneto** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 60 H 4980 : *Sistemi elettrici per l'energia* [5:2]

TEL 564'7138. Orario di ricevimento: richiederlo alla segreteria didattica del Dipartimento. Il docente è disponibile anche fuori dall'orario di ricevimento.

Prof. **Vito Carrescia** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 113 H 5450 : *Tecnica della sicurezza elettrica* [5:1]

Prof. **Valeria Chiadò Piat** (*Matematica*)

p. 22 H 0232 : *Analisi matematica 2* [2:1]

I numeri telefonici sono esposti all'ingresso del Dipartimento. Orario di ricevimento: sarà concordato con gli studenti all'inizio delle lezioni.

Prof. **Nadia Chiarli** (*Matematica*)

p. 16 H 2300 : *Geometria* [1:2]

Orario di ricevimento: sarà affisso in bacheca, a partire dalla seconda settimana di corso.

Prof. **Pier Paolo Civaleri** (*Ing. elettronica*)

p. 30 H 1791 : *Elettrotecnica I* [2:2]

Docente (*dipartimento*) // codice : *corso* [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

Prof. **Franco Maddaleno** (*Ing. elettronica*)

p. 77 H1760 : *Elettronica di potenza* [5:1]

TEL 564'4042, EM maddaleno@polito.it. Orario di ricevimento: in orario di ufficio, previo accordo telefonico.

Prof. **Salvatore Mancò** (*Energetica*)

p. 88 H2780 : *Impianti per la cogenerazione e il risparmio energetico* [x:1]

Prof. **Vito Mauro** (*Ing. automatica e informatica*)

p. 99 H3800 : *Modellistica e identificazione* [x:1]

Prof. **Augusto Mazza** (*Energetica*)

p. 83 H2560 : *Illuminotecnica* [x:2]

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

p. 38 H4660 : *Scienza e tecnologia dei materiali elettrici* [3:1]

TEL 564'4688, EM mazza@polito.it. Orario di ricevimento: giovedì 14-15.

Prof. **Roberto Merletti** (*Ing. elettronica*)

p. 110 H5240 : *Strumentazione biomedica* [5:1]

TEL 564'4137, EM merletti@polito.it.

Prof. **Armando Monte** (*Idraulica, trasporti e infrastrutture civili*)

p. 82 H2370 : *Gestione dei progetti d'impianto* [x:2]

Prof. **Paola Moroni** (*Matematica*)

p. 29 H0510 : *Calcolo numerico* [2:2]

TEL 564'7503.

Prof. **Paolo Mosca** (*Idraulica, trasporti e infrastrutture civili*)

p. 88 H2800 : *Impianti speciali idraulici* [5:2]

Prof. **Franco Mussino** (*Ing. elettronica*)

p. 41 H1710 : *Elettronica applicata* [3:2]

TEL 564'4050, EM mussino@polito.it. Orario di ricevimento: venerdì 10:30-12:30.

Prof. **Roberto Napoli** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 57 H2702 : *Impianti elettrici 2* [5:1]

TEL 564'7136. Orario di ricevimento: da richiedere alla segreteria didattica del Dipartimento.

Docente (dipartimento) // codice : corso [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

Prof. **Nicola Nervegna** (*Energetica*)

p. 100 H 3850 : *Oleodinamica e pneumatica* [x:2]

TEL 564'4432, 4502, 4471. Orario di ricevimento: sempre disponibile, previo contatto telefonico (o personale durante le ore di didattica).

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

p. 99 H 3770 : *Modelli per l'organizzazione e la gestione di sistemi* [x:1]

Prof. **Luciano Orusa** (*Ing. dei sistemi edilizi e territoriali*)

p. 76 H 1360 : *Disciplina giuridica delle attività tecnico-ingegneristiche* [x:1]

Prof. **Giorgio Pellicelli** (*Univ. degli studi di Torino*)

p. 110 H 5175 : *Statistica aziendale + Marketing industriale* [x:2]

Prof. **Gaetano Pessina** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 67 H 0400 : *Azionamenti per trazione elettrica* [5:1]

Dopo ogni lezione, per i due periodi didattici, il docente è disponibile per un'ora al ricevimento studenti. Per contatti su appuntamento rivolgersi alla segreteria del Dipartimento.

Prof. **Franco Piazzese** (*Fisica*)

p. 35 H 3204 : *Meccanica analitica* [3:1]

Orario di ricevimento: da convenire.

Prof. **Elio Piccolo** (*Ing. automatica e informatica*)

p. 20 H 2170 : *Fondamenti di informatica* [1:2]

91 H 3000 : *Intelligenza artificiale* [x:2]

Prof. **Umberto Pisani** (*Ing. elettronica*)

p. 111 H 5260 : *Strumentazione e misure elettroniche* [5:1]

TEL 564'4047, EM pisani@polito.it. Orario di ricevimento: martedì 9-10:30, giovedì 16:30-18:30; il docente è inoltre disponibile a ricevere su appuntamento telefonico.

Prof. **Roberto Pomè** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 51 H 2701 : *Impianti elettrici I* [4:2]

TEL 564'7134. Orario di ricevimento: da richiedere alla segreteria didattica del Dipartimento.

Prof. **Aldo Priola** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

p. 14 H 0620 : *Chimica* [1:1]

Docente (dipartimento) // codice : corso [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

Prof. **Francesco Profumo** (Ing. elettrica industriale)

p. 72 H 089 0 : *Conversione statica dell'energia elettrica* [5:2]

TEL 564'7127, FAX 564'7199. Orario di ricevimento: martedì 12:30-13:30.

Prof. **Giovanni Roccati** (Ing. meccanica)

p. 53 H 143 5 : *Disegno tecnico industriale + Costruzione di macchine* [4:2]

TEL 564'6932. Orario di ricevimento: sarà precisato all'inizio di ogni periodo didattico mediante avviso esposto nella bacheca presso il Dipartimento. È previsto comunque un periodo di consulenza di 2 ore per settimana.

Prof. **Ario Romiti** (Ing. meccanica)

p. 94 H 328 0 : *Meccanica dei robot* [5:1]

TEL 564'6927, 6905. (A. Manuello: TEL 564'6931).

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

p. 86 H 272 0 : *Impianti industriali* [5:2]

114 H 564 0 : *Tecnologia meccanica* [5:2]

TEL 564'7259. Orario di ricevimento: accesso libero.

Prof. **Alfredo Strigazzi** (Fisica)

p. 17 H 190 1 : *Fisica I* [1:2]

Prof. **Roberto Tadei** (Ing. automatica e informatica)

p. 104 H 455 0 : *Ricerca operativa* [5:1]

TEL 564'7032, FAX 564'7099, EM tadei@polito.it. Orario di ricevimento: lunedì 14:30-16:30, venerdì 8:30-10:30. (F. Della Croce: TEL 564'7059, FAX 564' 7099, EM dellacroce@polito.it).

Prof. **Angelo Tartaglia** (Fisica)

p. 23 H 190 2 : *Fisica 2* [2:1]

TEL 564'7328, EM tartaglia@polito.it. Orario di ricevimento: martedì 14:30-16:30.

Prof. **Michele Tartaglia** (Ing. elettrica industriale)

p. 43 H 179 2 : *Elettrotecnica 2* [3:2]

Prof. **Giancarlo Teppati** (Matematica)

p. 34 H 023 4 : *Analisi matematica 3* [3:1]

TEL 564'7508. Orario di ricevimento: lunedì 8:30-11:30.

Prof. **Marialuisa Tosoni** (Ing. elettrica industriale)

p. 63 H 029 0 : *Applicazioni industriali elettriche* [5:2]

TEL 564'7116. Orario di ricevimento: venerdì 10:30-12:30; eventuali colloqui possono essere concordati anche in orari diversi.

Docente (*dipartimento*) // codice : *corso* [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

Prof. **Alfredo Vagati** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 59 H 0391 : *Azionamenti elettrici per l'automazione* [5:2]

TEL 564'7108. Orario di ricevimento: martedì 14:30-16:30.

Prof. **Adriano Valenzano** (*Ing. automatica e informatica*)

p. 20 H 2170 : *Fondamenti di informatica* [1:2]

Orario di ricevimento: è comunicato tramite avviso presso le bacheche del Dipartimento.

Prof. **Maurizio Vallauri** (*Ing. automatica e informatica*)

p. 71 H 0870 : *Controllo digitale* [5:2]

TEL 564'7028. Orario di ricevimento: affisso sulla porta dell'ufficio presso il Dipartimento. Di regola: lunedì 8:30-1030; in altri giorni e ore previo appuntamento.

Prof. **Grazia Vicario** (*Matematica*)

p. 97 H 3500 : *Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici* [x:2]

Prof. **Franco Villata** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 54 H 1770 : *Elettronica industriale di potenza* [5:1]

TEL 564'7146. Orario di ricevimento: mercoledì e venerdì 10:30-12:30.

Prof. **Carlo Zimaglia** (*Ing. elettrica industriale*)

p. 74 H 1060 : *Costruzioni elettromeccaniche* [5:1]

Tavola alfabetica degli insegnamenti

<i>p.</i>	<i>codice</i>	<i>corso [anno:periodo] // docenti</i>
13	H 023 1	Analisi matematica 1 [1:1] Prof. Luisella Caire
22	H 023 2	Analisi matematica 2 [2:1] Prof. Valeria Chiadò Piat
34	H 023 4	Analisi matematica 3 (ridotto) [3:1] Prof. Giancarlo Teppati
63	H 029 0	Applicazioni industriali elettriche [5:2] Prof. Marialuisa Tosoni
65	H 035 0	Automazione a fluido [x:1] Prof. Guido Belforte
66	H 037 0	Automazione industriale [5:1] Prof. Francesco Donati
59	H 039 1	Azionamenti elettrici per l'automazione [5:2] Prof. Alfredo Vagati
67	H 040 0	Azionamenti per trazione elettrica [5:1] Prof. Gaetano Pessina
68	H 045 0	Biomeccanica [5:2] Prof. Cristina Bignardi
29	H 051 0	Calcolo numerico [2:2] Prof. Paola Moroni
14	H 062 0	Chimica [1:1] Prof. Aldo Priola
48	H 084 0	Controlli automatici [4:1] Prof. Giovanni Fiorio
69	H 085 0	Controllo dei processi [x:1] Prof. Donato Carlucci
71	H 087 0	Controllo digitale [5:2] Prof. Maurizio Vallauri
72	H 089 0	Conversione statica dell'energia elettrica [5:2] Prof. Francesco Profumo
74	H 106 0	Costruzioni elettromeccaniche [5:1] Prof. Carlo Zimaglia
76	H 136 0	Disciplina giuridica delle attività tecnico-ingegneristiche [x:1] Prof. Luciano Orusa
53	H 143 5	Disegno tecnico industriale + Costruzione di macchine (integrato) [4:2] Prof. Giovanni Roccati
25	H 153 0	Economia ed organizzazione aziendale [2:1] Prof. Giovanni Fraquelli
41	H 171 0	Elettronica applicata [3:2] Prof. Franco Mussino

<i>p.</i>	<i>codice</i>	<i>corso [anno:periodo] // docenti</i>
77	H 176 0	Elettronica di potenza [5:1] Prof. Franco Maddaleno
54	H 177 0	Elettronica industriale di potenza [5:1] Prof. Franco Villata
30	H 179 1	Elettrotecnica 1 [2:2] Prof. Pier Paolo Civalleri
43	H 179 2	Elettrotecnica 2 [3:2] Prof. Michele Tartaglia
79	H 181 0	Energetica [5:2] Prof. Michele Cali Quaglia
81	H 183 0	Energetica e sistemi nucleari [x:2] Prof. Evasio Lavagno
17	H 190 1	Fisica 1 [1:2] Prof. Giovanni Barbero, Ottavia Borello Filisetti, Alfredo Strigazzi
23	H 190 2	Fisica 2 [2:1] Prof. Angelo Tartaglia
26	H 206 0	Fisica tecnica [2:2] Prof. Michele Cali Quaglia
20	H 217 0	Fondamenti di informatica [1:2] Prof. Pietro Laface, Elio Piccolo, Adriano Valenzano
16	H 230 0	Geometria [1:2] Prof. Nadia Chiarli, Silvio Greco
82	H 237 0	Gestione dei progetti d'impianto [x:2] Prof. Armando Monte
83	H 256 0	Illuminotecnica [x:2] Prof. Augusto Mazza
51	H 270 1	Impianti elettrici 1 [4:2] Prof. Roberto Pomè
57	H 270 2	Impianti elettrici 2 [5:1] Prof. Roberto Napoli
84	H 271 0	Impianti elettrici a media e bassa tensione [5:2] Prof. Giovanni Cantarella
86	H 272 0	Impianti industriali [5:2] Prof. Francesco Spirito
88	H 278 0	Impianti per la cogenerazione e il risparmio energetico [x:1] Prof. Salvatore Mancò
88	H 280 0	Impianti speciali idraulici [5:2] Prof. Enzo Buffa, Paolo Mosca
89	H 282 0	Impianti termotecnici [5:2] Prof. Vincenzo Ferro
91	H 300 0	Intelligenza artificiale [x:2] Prof. Elio Piccolo
92	H 309 0	Localizzazione dei sistemi energetici [5:1] Prof. Evasio Lavagno

<i>p.</i>	<i>codice</i>	<i>corso [anno:periodo] // docenti</i>
50	H 311 0	Macchine [4:2] Prof. Paolo Campanaro
45	H 313 0	Macchine elettriche [4:1] Prof. Paolo Ferraris
35	H 320 4	Meccanica analitica (ridotto) [3:1] Prof. Franco Piazzese
40	H 321 0	Meccanica applicata alle macchine [3:2] Prof. Guido Belforte
94	H 328 0	Meccanica dei robot [5:1] Prof. Ario Romiti
95	H 346 0	Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo [5:2] Prof. Giovanni Fiorio
97	H 350 0	Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici [x:2] Prof. Grazia Vicario
47	H 366 0	Misure elettriche [4:1] Prof. Andrea Abete
99	H 377 0	Modelli per l'organizzazione e la gestione di sistemi [x:1] Prof. Maria Franca Norese
56	H 378 0	Modellistica dei sistemi elettromeccanici [5:1] Prof. Mario Lazzari
99	H 380 0	Modellistica e identificazione [x:1] Prof. Vito Mauro
100	H 385 0	Oleodinamica e pneumatica [x:2] Prof. Nicola Nervegna
104	H 455 0	Ricerca operativa [5:1] Prof. Roberto Tadei
105	H 458 0	Robotica industriale [5:1] Prof. Basilio Bona
36	H 460 0	Scienza delle costruzioni [3:1] Prof. Enrico Ballatore
38	H 466 0	Scienza e tecnologia dei materiali elettrici [3:1] Prof. Daniele Mazza
108	H 470 0	Sensori e trasduttori [5:1] Prof. Andrea De Marchi
108	H 488 0	Sistemi di elaborazione [5:2] Prof. Elena Baralis
60	H 498 0	Sistemi elettrici per l'energia [5:2] Prof. Enrico Carpaneto
110	H 517 5	Statistica aziendale + Marketing industriale (integrato) [x:2] Prof. Roberto Corradetti, Giorgio Pellicelli
110	H 524 0	Strumentazione biomedica [5:1] Prof. Roberto Merletti
111	H 526 0	Strumentazione e misure elettroniche [5:1] Prof. Umberto Pisani

p. *codice* *corso [anno:periodo] // docenti*

- 113 H 545 0 **Tecnica della sicurezza elettrica** [5:1]
Prof. Vito Carrescia
- 114 H 564 0 **Tecnologia meccanica** [5:2]
Prof. Francesco Spirito
- 116 H 600 0 **Termotecnica** [x:2]
Prof. Antonio Maria Barbero