



**POLITECNICO  
DI TORINO**

# **INGEGNERIA ELETTRICA**

Guida  
ai programmi  
dei corsi  
1999/2000

## ■ INTRODUZIONE ALLA GUIDA AI PROGRAMMI

Lo scopo fondamentale del presente opuscolo è quello di orientare gli studenti nella scelta dei piani di studio. Nella guida sono contenuti i programmi dei corsi obbligatori e facoltativi per permettere agli studenti di poter decidere con chiarezza anno per anno come adeguare le scelte del piano di studio.

Le guide ai programmi dell'anno 1999/2000 introducono il valore in *crediti* e l'articolazione in *moduli* di quasi tutti corsi; queste novità sono il primo passo verso il cambiamento del sistema universitario italiano che adeguerà i propri percorsi formativi a quanto concordato a livello europeo.

Si consiglia la lettura del capitolo "*l'università sta cambiando*" pubblicato sul Manifesto degli Studi, ove sono riportate tutte le informazioni relative alla trasformazione dei corsi universitari.

### ***Cosa sono i crediti***

Per gli studi politecnici un credito didattico corrisponderà, per un allievo di medie capacità, a circa trenta ore di attività didattica comprensive delle ore di lezione, esercitazione, laboratorio e studio individuale. L'indicazione di massima è che per conseguire il titolo di I livello (attuale diploma universitario) occorrerà acquisire circa 180 crediti e che per il titolo di II livello (attuale laurea) ne occorreranno circa 300, tenendo conto che anche la preparazione e la discussione della tesi costituirà un valore in crediti.

Il parametro di riferimento è quello di acquisire circa sessanta crediti annuali.

### ***Cosa sono i moduli didattici***

Nel nuovo sistema i moduli didattici rappresenteranno per molti degli attuali corsi una suddivisione del programma precedente, quindi aumenterà la possibilità di combinare in modo più articolato le diverse materie.

Supponendo che un attuale corso sia suddiviso in tre moduli, in molti casi sarà sufficiente scegliere solo un modulo o due a secondo del percorso scelto; vi saranno moduli obbligatori e moduli facoltativi, e saranno previste precedenzae.

I moduli indicati in questa guida rappresentano la prima fase di trasformazione della didattica ma non sono ancora validi come singoli moduli didattici ai fini della predisposizione del piano di studio.

## ■ 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, domotica, 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 appli-



## ■ INDIRIZZI

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 impiegato 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.

## ■ QUADRO DIDATTICO DEGLI INSEGNAMENTI OBBLIGATORI

Il Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica è suddiviso in due indirizzi (Automazione industriale ed Energia), che si diversificano a partire dal secondo periodo didattico del quarto anno. Ogni indirizzo è a sua volta articolato in tre orientamenti.

### **Indirizzo Automazione industriale**

Oltre alle ventuno annualità di base, l'indirizzo Automazione comprende cinque corsi caratterizzanti e tre corsi di orientamento.

| Anno | 1° periodo didattico |  | 2° periodo didattico |  |
|------|----------------------|--|----------------------|--|
| 1    | H0231                | Analisi matematica I                                 | H2300                | Geometria  |
|      | H0620                | Chimica  | H1901                | Fisica generale I  |
| 2    | H0232                | Analisi matematica II                                | H2170                | Fondamenti di informatica  |
|      | H1902                | Fisica generale II                                   | H0234                | Analisi matematica III (r)   |
|      | H1530                | Economia ed<br>organizzazione aziendale              | H3204                | Meccanica analitica (r)  |
|      |                      |  | H0510                | Calcolo numerico   |
|      |                      |  | H1791                | Elettrotecnica I   |
| 3    | H2060                | Fisica tecnica                                       | H3210                | Meccanica applicata alle<br>macchine                                   |
|      | H4600                | Scienza delle costruzioni                            | HA410                | Elettronica  |
|      | H4660                | Scienza e tecnologia dei<br>materiali elettrici      | H1792                | Elettrotecnica II  |
| 4    | H3130                | Macchine elettriche                                  | H2701                | Impianti elettrici I   |
|      | H3660                | Misure elettriche                                    | H0890                | <i>Conversione statica dell'energia<br/>elettrica</i>                  |
|      | H0840                | Controlli automatici                                 | H1435                | <i>Disegno tecnico<br/>industriale/Costruzione di<br/>macchine (i)</i> |
| 5    | H1770                | <i>Elettronica industriale di<br/>potenza</i>        | H0390                | <i>Azionamenti elettrici per<br/>l'automazione</i>                     |
|      | H3780                | <i>Modellistica dei sistemi<br/>elettromeccanici</i> | <u>Y</u>             |  |
|      | <u>X</u>             |  | <u>Z</u>             |  |

(i) Corso integrato.

(r) Corso ridotto.

- in corsivo i corsi caratterizzanti l'indirizzo

- sottolineati i corsi di orientamento X, Y, Z

## ■ ORIENTAMENTI

Sono previsti tre orientamenti (A1 - automazione industriale, A2 - tecnologico, A3 - trasporti), caratterizzati ciascuno da tre corsi di orientamento *X, Y, Z*, non necessariamente tutti collocati nei p.d. indicati. Per ogni orientamento, l'insieme dei tre corsi è costituito da:

- un corso obbligatorio di orientamento (Ax.O)
- un corso scelto fra quelli indicati nella pertinente tabella Ax.A
- un corso scelto fra quelli indicati nell'insieme delle pertinenti tabelle Ax.A ed Ax.B

### **Orientamento A1: Automazione industriale**

| <i>Tab.</i> | <i>Anno</i> | <i>1° periodo didattico</i> |                                      | <i>2° periodo didattico</i> |  |
|-------------|-------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--|
| A1.O        | 5           |                             |                                      | <b>H0290</b>                | Applicazioni industriali elettriche                  |
| A1.A        | 5           | <b>H0370</b>                | Automazione industriale              | <b>H0870</b>                | Controllo digitale                                   |
|             |             | <b>H1060</b>                | Costruzioni elettromeccaniche        |                             |  |
|             |             | <b>H1760</b>                | Elettronica di potenza               |                             |  |
|             |             | <b>HA180</b>                | Propulsione elettrica                |                             |  |
|             |             | <b>H5260</b>                | Strumentazione e misure elettroniche |                             |  |
|             |             | <b>H4580</b>                | Robotica industriale                 |                             |  |
| A1.B        | 5           | <b>H2702</b>                | Impianti elettrici II                | <b>HA170</b>                | Distribuzione e utilizzazione dell'energia elettrica |
|             |             | <b>H3280</b>                | Meccanica dei robot                  | <b>H3850</b>                | Oleodinamica e pneumatica                            |
|             |             | <b>P4090</b>                | Produzione assistita da calcolatore  | <b>H3000</b>                | Intelligenza artificiale                             |
|             |             | <b>H5450</b>                | Tecnica della sicurezza elettrica    | <b>H3110</b>                | Macchine   |
|             |             | <b>H0850</b>                | Controllo dei processi               |                             |  |
|             |             | <b>H0350</b>                | Automazione a fluido                 |                             |  |

## Orientamento A2: Tecnologico

| <i>Tab.</i> | <i>Anno</i> | <i>1° periodo didattico</i> |   | <i>2° periodo didattico</i> |  |
|-------------|-------------|-----------------------------|---|-----------------------------|--|
| A2.O        | 5           | <b>H1060</b>                | Costruzioni elettromeccaniche               |                             |  |
| A2.A        | 5           | <b>P4090</b>                | Produzione assistita da calcolatore         | <b>H0290</b>                | Applicazioni industriali elettriche  |
|             |             | <b>HA180</b>                | Propulsione elettrica                       | <b>H5640</b>                | Tecnologia meccanica   |
|             |             | <b>H4700</b>                | Sensori e trasduttori                       | <b>E3950</b>                | Plasticità e lavorazioni per deformazione plastica                               |
| A2.B        | 5           | <b>H2702</b>                | Impianti elettrici II                       | <b>HA170</b>                | Distribuzione e utilizzazione dell'energia elettrica                             |
|             |             | <b>E4630</b>                | Scienza e tecnologia dei materiali ceramici | <b>E4640</b>                | Scienza e tecnologia dei materiali compositi                                     |
|             |             | <b>H5450</b>                | Tecnica della sicurezza elettrica           | <b>P5575</b>                | Tecnologia dei materiali e chimica appl. /Tecnologia dei materiali metallici (i) |
|             |             |                             |   | <b>E4681</b>                | Scienza e tecnologia dei materiali polimerici I                                  |
|             |             |                             |   | <b>P5720</b>                | Tecnologie speciali  |
|             |             |                             |   | <b>H3850</b>                | Oleodinamica e pneumatica  |
|             |             |                             |   | <b>H3110</b>                | Macchine   |

## Orientamento A3: Trasporti

| <i>Tab.</i> | <i>Anno</i> | <i>1° periodo didattico</i> |   | <i>2° periodo didattico</i> |  |
|-------------|-------------|-----------------------------|---|-----------------------------|--|
| A3.O        | 5           | <b>HA180</b>                | Propulsione elettrica                                 |                             |  |
| A3.A        | 5           | <b>H1060</b>                | Costruzioni elettromeccaniche                         | <b>H0290</b>                | Applicazioni industriali elettriche                  |
|             |             | <b>H4550</b>                | Ricerca operativa                                     | <b>H3110</b>                | Macchine   |
| A3.B        | 5           | <b>H2702</b>                | Impianti elettrici II                                 | <b>HA170</b>                | Distribuzione e utilizzazione dell'energia elettrica |
|             |             | <b>P5490</b>                | Tecnica ed economia dei trasporti                     | <b>P3910</b>                | Pianificazione dei trasporti                         |
|             |             | <b>PA650</b>                | Gestione ed esercizio dei sistemi di trasporto        | <b>MA390</b>                | Economia e organizzazione dei servizi                |
|             |             | <b>H5450</b>                | Tecnica della sicurezza elettrica                     | <b>D5880</b>                | Teoria e tecnica della circolazione                  |
|             |             | <b>H1360</b>                | Disciplina giuridica delle attività tecnico-ingegner. |                             |  |

## Indirizzo Energia

Oltre alle ventuno annualità di base, l'indirizzo Energia comprende cinque corsi caratterizzanti e tre corsi di orientamento.

| Anno | 1° periodo didattico |   | 2° periodo didattico |                                      |
|------|----------------------|---|----------------------|--------------------------------------|
| 1    | H0231                | Analisi matematica I                            | H2300                | Geometria                            |
|      | H0620                | Chimica   | H1901                | Fisica generale I                    |
| 2    | H0232                | Analisi matematica II                           | H2170                | Fondamenti di informatica            |
|      | H1902                | Fisica generale II                              | H0234                | Analisi matematica III (r)           |
|      | H1530                | Economia ed<br>organizzazione aziendale         | H3204                | Meccanica analitica (r)              |
|      | H2060                | Fisica tecnica                                  | H0510                | Calcolo numerico                     |
|      | H4600                | Scienza delle costruzioni                       | H1791                | Elettrotecnica I                     |
| 3    | H4660                | Scienza e tecnologia dei<br>materiali elettrici | H3210                | Meccanica applicata alle<br>macchine |
|      | H3130                | Macchine elettriche                             | HA410                | Elettronica                          |
| 4    | H3660                | Misure elettriche                               | H1792                | Elettrotecnica II                    |
|      | H0840                | Controlli automatici                            | H2701                | Impianti elettrici I                 |
|      | H1770                | Elettronica industriale di<br>potenza           | H3110                | Macchine                             |
|      | H2702                | Impianti elettrici II                           | X                    |                                      |
| 5    | H5450                | Tecnica della sicurezza<br>elettrica            | H4980                | Sistemi elettrici per l'energia      |
|      | Y (1)                |   | Y (2)                |                                      |
|      |                      |   | Z                    |                                      |

(r) Corso ridotto.

- in corsivo i corsi caratterizzanti l'indirizzo Energia

- dei tre corsi di orientamento X, Y, Z uno (Y) può essere collocato alternativamente al primo periodo didattico (Y1) o al secondo periodo didattico (Y2) del quinto anno. Uno (X) dei corsi di orientamento deve essere collocato nel secondo periodo didattico del quarto anno.

## ■ ORIENTAMENTI

Sono previsti tre orientamenti (E1 - impiantistico professionale, E2 - impiantistico industriale, E3 - impiantistico energetico), caratterizzati ciascuno da tre corsi di orientamento X,Y,Z. Per ogni orientamento, l'insieme dei tre corsi è costituito da:

- un corso obbligatorio di orientamento (Ex.O)
- un corso scelto fra quelli indicati nella pertinente tabella Ex.A
- un corso scelto fra quelli indicati nell'insieme delle pertinenti tabelle Ex.A ed Ex.B

### **Orientamento E1: Impiantistico professionale**

| <i>Tab.</i> | <i>Anno</i> | <i>1° periodo didattico</i>  | <i>2° periodo didattico</i>   |
|-------------|-------------|--|---|
| E1.O        | 4,5         |  | <b>HA170</b> Distribuzione ed utilizzazione dell'energia elettrica  |
| E1.A        | 4,5         |  | <b>H1435</b> Disegno tecnico industriale/Costruzione di macchine (i)<br><b>H2560</b> Illuminotecnica<br><b>H2720</b> Impianti industriali<br><b>H2800</b> Impianti speciali idraulici<br><b>H2820</b> Impianti termotecnici<br><b>H3500</b> Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici |
| E1.B        | 5           | <b>H1360</b> Disciplina giuridica delle attività tecnico-ingegneristiche<br><b>H2780</b> Impianti per la cogenerazione e il risparmio energetico<br><b>HA180</b> Propulsione elettrica | <b>M2380</b> Gestione dei servizi energetici<br><b>H2706</b> Impianti elettrici (progettazione)   |

**Orientamento E2: Impiantistico industriale**

| <i>Tab.</i> | <i>Anno</i> | <i>1° periodo didattico</i> |  | <i>2° periodo didattico</i> |   |
|-------------|-------------|-----------------------------|--|-----------------------------|---|
| E2.O        | 4,5         |                             |  | <b>HA170</b>                | Distribuzione ed utilizzazione dell'energia elettrica   |
| E2.A        | 4,5         |                             |  | <b>H0890</b>                | Conversione statica dell'energia elettrica              |
|             |             |                             |  | <b>H1435</b>                | Disegno tecnico industriale/Costruzione di macchine (i) |
|             |             |                             |  | <b>H2370</b>                | Gestione dei progetti di impianto                       |
|             |             |                             |  | <b>H2720</b>                | Impianti industriali                                    |
|             |             |                             |  | <b>H2800</b>                | Impianti speciali idraulici                             |
|             |             |                             |  | <b>H4880</b>                | Sistemi di elaborazione                                 |
| E2.B        | 5           | <b>H0370</b>                | Automazione industriale                                  | <b>H0290</b>                | Applicazioni industriali elettriche                     |
|             |             | <b>H1060</b>                | Costruzioni elettromeccaniche                            | <b>H0390</b>                | Azionamenti elettrici per l'automazione                 |
|             |             | <b>H2780</b>                | Impianti per la cogenerazione ed il risparmio energetico | <b>H2706</b>                | Impianti elettrici (progettazione)                      |
|             |             |                             |  | <b>H5640</b>                | Tecnologia meccanica                                    |

### **Orientamento E3: Impiantistico energetico**

| <i>Tab.</i> | <i>Anno</i> | <i>1° periodo didattico</i>                                    | <i>2° periodo didattico</i>                                   |
|-------------|-------------|--|---|
| E3.O        | 4,5         |  | H2800 Impianti speciali idraulici                             |
| E3.A        | 4,5         |  | H1435 Disegno tecnico industriale/Costruzione di macchine (i) |
|             |             |  | HA170 Distribuzione ed utilizzazione dell'energia elettrica   |
|             |             |  | H1830 Energetica e sistemi nucleari                           |
|             |             |  | H2820 Impianti termotecnici                                   |
|             |             |  | Q4740 Sicurezza ed analisi di rischio                         |
|             |             |  | H6000 Termotecnica  |
|             | 5           |  | H2706 Impianti elettrici (progettazione) (*)                  |
|             |             |  | H1810 Energetica (*)  |
|             |             |  | M2380 Gestione dei servizi energetici (*)                     |
| E3.B        | 5           | H1060 Costruzioni elettromeccaniche                            |   |
|             |             | H2780 Impianti per la cogenerazione ed il risparmio energetico |   |
|             |             | H3090 Localizzazione dei sistemi energetici                    |   |

(\*) corsi collocabili solo al quinto anno

## ■ BIENNIO CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA SEDE DI MONDOVI

| Anno | 1° periodo didattico                                | 2° periodo didattico                                |
|------|---|---|
| 1    | <b>H0231</b> Analisi matematica I                   | <b>H2300</b> Geometria                              |
|      | <b>H0620</b> Chimica                                | <b>H1901</b> Fisica generale I                      |
|      | <b>H2170</b> Fondamenti di informatica<br>(annuale) | <b>H2170</b> Fondamenti di informatica<br>(annuale) |
| 2    | <b>H0232</b> Analisi matematica II                  | <b>P3370</b> Meccanica Razionale                    |
|      | <b>H1902</b> Fisica generale II                     | <b>H0510</b> Calcolo numerico                       |
|      | <b>H1791</b> Elettrotecnica I*                      | <b>H0234</b> Analisi Matematica III (r)             |
|      |   | <b>L0494</b> Calcolo delle probabilità (r)          |

\* Mutuato da L1790 Elettrotecnica

## ■ TESI DI LAUREA

La tesi di laurea consiste nello svolgimento, sotto guida di un professore ufficiale, di un progetto o di uno studio di carattere tecnico o scientifico.

Gli allievi che hanno deciso di optare per tale tesi devono farne domanda alla segreteria del Consiglio di corso di laurea con modulo giallo da consegnare alla medesima segreteria almeno due mesi prima per tesi bimestrali e sei mesi prima per tesi semestrali.

Le scadenze precise saranno indicate nella bacheca del Consiglio di Corso di Laurea.

## ■ DOPPIA LAUREA

Nell'ambito del programma Socrates è possibile ottenere il doppio titolo di studio - per esempio, la laurea in ingegneria del Politecnico di Torino ed il titolo equivalente di una Università estera dell'Unione Europea - attraverso un curriculum di studio concordato fra le due Università, che si svolge parte nell'una e parte nell'altra.

Per gli studenti di Ingegneria Elettrica sono stati stipulati accordi di doppia laurea con l'Ecole Nationale Supérieure d'Ingenieurs Electriciens de Grenoble (ENSIEG), appartenente all'Institut Nationale Polytechnique de Grenoble (INPG, Francia) e con la Technische Universität Darmstadt (Germania).

Gli studenti che si recano all'estero per il conseguimento della doppia laurea possono beneficiare di una borsa Socrates/Erasmus per un periodo massimo di 12 mesi per ulteriori informazioni vedi capitolo "Mobilità degli studenti" pubblicato nella Guida dello Studente).

## ■ QUADRO DEGLI INSEGNAMENTI E CREDITI

Con l'A.A. 1999/2000 parte la nuova organizzazione del calendario didattico, con due semestri suddivisi ciascuno in due emisestri separati da un intervallo di due settimane. Gli intervalli potranno essere utilizzati per accertamenti intermedi o per dare agli allievi più tempo per studiare gli argomenti sviluppati nella prima parte dei semestri.

È intenzione del CCL elettrico favorire questa nuova organizzazione della didattica. I lavori della commissione didattica proseguiranno sino all'inizio dell'anno accademico. Può darsi quindi che all'inizio dell'anno qualche programma risulti leggermente variato, per meglio sfruttare l'organizzazione in emisestri e la possibilità di effettuare accertamenti. Eventuali variazioni migliorative in questo senso saranno rese note prima dell'inizio dei corsi.

L'A.A. 1999/2000 è un anno di transizione, durante il quale il CCL in Ingegneria Elettrica ha deciso di avviare la sperimentazione di una nuova organizzazione didattica, che a regime si baserà sul sistema dei crediti e su una diversa relazione diploma-laurea.

Riportiamo quindi nel seguito anche l'articolazione dei principali corsi in ore ed in crediti, pur precisando che tale articolazione ha carattere puramente informativo ed approssimato, poiché la carriera didattica degli allievi rimane strutturata in corsi.

| I ANNO | I PERIODO DIDATTICO  | CREDITI |
|--------|--|---------|
| H0231  | <i>Analisi matematica I</i>  | 11      |
|        | <i>Funzioni continue e calcolo differenziale</i>                             | 6       |
|        | <i>Calcolo integrale</i>   | 5       |
| H 0620 | <i>Chimica</i>   | 11      |
|        | <i>Chimica di base. Reazioni chimiche. Gas e liquidi, Termochimica.</i>      | 4       |
|        | <i>Struttura atomica. Legami chimici. Stato solido</i>                       | 3       |
|        | <i>Cinetica chimica. Equilibri in fase gassosa e liquida. Elettrochimica</i> | 4       |
| I ANNO | II PERIODO DIDATTICO   | CREDITI |
| H1901  | <i>Fisica Generale I</i>   | 10      |
|        | <i>Misure</i>  | 1       |
|        | <i>Meccanica e termodinamica</i>   | 6       |
|        | <i>Meccanica dei corpi celesti</i>   | 2       |
|        | <i>Laboratori</i>  | 1       |
| H2300  | <i>Geometria</i>   | 10      |
|        | <i>Algebra lineare</i>   | 6       |
|        | <i>Geometria analitica</i>   | 4       |
| H2170  | <i>Fondamenti di informatica</i>   | 10      |
|        | <i>Codifica delle informazioni</i>   | 2       |
|        | <i>Architettura degli elaboratori</i>  | 2       |
|        | <i>Software di linguaggi</i>   | 5       |
|        | <i>Telematica</i>  | 1       |

| II ANNO | I PERIODO DIDATTICO                                | CREDITI   |
|---------|--|-----------|
| H0232   | <b>Analisi matematica II</b>                       | <b>10</b> |
|         | Serie e sistemi differenziali lineari              | 5         |
|         | Calcolo differenziale e integrale in più variabili | 5         |
| H1902   | <b>Fisica Generale II</b>                          | <b>11</b> |
|         | Elettromagnetismo (con Elettrostatica)             | 5         |
|         | Meccanica delle onde                               | 5         |
|         | Laboratori   | 1         |
| H1530   | <b>Economia ed Organizzazione Aziendale</b>        | <b>10</b> |
|         | Economia dell'attività d'impresa                   | 4         |
|         | Teoria della produzione ed analisi dei costi       | 4         |
|         | Valutazione degli investimenti industriali         | 2         |

| II ANNO | II PERIODO DIDATTICO                            | CREDITI   |
|---------|---|-----------|
| H0234   | <b>Analisi matematica III (r)</b>               | <b>5</b>  |
|         | Funzioni complesse ed analitiche                | 2         |
|         | Distribuzioni                                   | 1         |
|         | Trasformate di Fourier e di Laplace             | 2         |
| H3204   | <b>Meccanica analitica (r)</b>                  | <b>5</b>  |
|         | Vincoli, lavori virtuali, equazioni di Lagrange | 2         |
|         | Principi di Hamilton. Metodi variazionali       | 1         |
|         | Cinematica e dinamica del corpo rigido          | 2         |
| H0510   | <b>Calcolo numerico</b>                         | <b>10</b> |
|         | Aritmetica. Algebra lineare numerica            | 3         |
|         | Approssimazioni ed interpolazioni               | 2         |
|         | Sistemi non lineari. Integrazione numerica      | 2         |
|         | Equazioni differenziali                         | 3         |
| H1791   | <b>Elettrotecnica I</b>                         | <b>10</b> |
|         | Reti in regime stazionario                      | 3         |
|         | Reti in regime variabile                        | 2         |
|         | Reti in regime periodico                        | 2         |
|         | Sistemi polifasi                                | 3         |

| III ANNO | I PERIODO DIDATTICO  | CREDITI |
|----------|--|---------|
| H2060    | <b>Fisica Tecnica</b>  | 10      |
|          | Termodinamica  | 4       |
|          | Trasmissione del calore e termocinetica                      | 2       |
|          | Termotecnica   | 3       |
|          | Acustica   | 1       |
| H4600    | <b>Scienza delle costruzioni</b>                             | 10      |
|          | Sistemi di corpi non deformabili                             | 2       |
|          | Teoria del corpo deformabile e calcolo con elementi finiti   | 3       |
|          | Strutture iperstatiche                                       | 2       |
|          | Teoria tecnica della trave: progettazione e verifica         | 3       |
| H4660    | <b>Scienza e tecnologia dei materiali elettrici</b>          | 10      |
|          | Stato solido, reticoli, legami e bande                       | 2       |
|          | Materiali conduttori, semiconduttori, isolanti               | 3       |
|          | Materiali magnetici e superconduttività                      | 3       |
|          | Preparazione industriale e metallurgia di elementi rilevanti | 2       |

| III ANNO | II PERIODO DIDATTICO                              | CREDITI |
|----------|---|---------|
| H3210    | <b>Meccanica applicata alle macchine</b>          | 10      |
|          | Attrito e relative applicazioni                   | 3       |
|          | Trasmissione di potenza                           | 4       |
|          | Dinamica delle macchine                           | 3       |
| HA410    | <b>Elettronica</b>                                | 10      |
|          | Componenti passivi, diodi e transistori           | 2       |
|          | Amplificatori di piccolo segnale e controreazione | 4       |
|          | Circuiti di potenza                               | 1       |
|          | Elettronica digitale                              | 3       |
| H1792    | <b>Elettrotecnica II</b>                          | 10      |
|          | Linee elettriche                                  | 2       |
|          | Campi stazionari                                  | 3       |
|          | Campi variabili                                   | 3       |
|          | Calcolo numerico di campi                         | 2       |

| IV ANNO      | I PERIODO DIDATTICO                                 | CREDITI   |
|--------------|---|-----------|
| <b>H3130</b> | <b>Macchine elettriche</b>                          | <b>10</b> |
|              | Generalità e trasformatori                          | 2         |
|              | Problemi descrittivi macchine in corrente alternata | 2         |
|              | Macchine sincrone                                   | 2         |
|              | Macchine ad induzione                               | 2         |
|              | Macchine a corrente continua                        | 2         |
| <b>H3660</b> | <b>Misure elettriche</b>                            | <b>10</b> |
|              | Introduzione alla misurazione                       | 2         |
|              | Strumentazione di base                              | 4         |
|              | Strumenti e metodi per le misure elettriche         | 4         |
| <b>H0840</b> | <b>Controlli automatici</b>                         | <b>10</b> |
|              | Teoria dei sistemi e modelli                        | 4         |
|              | Sistemi monovariabili                               | 5         |
|              | Controllo digitale                                  | 1         |

| IV ANNO      | II PERIODO DIDATTICO                                       | CREDITI   |
|--------------|--|-----------|
| <b>H2701</b> | <b>Impianti elettrici I</b>                                | <b>10</b> |
|              | Struttura degli impianti                                   | 1         |
|              | Stato del neutro   | 1         |
|              | Studio dei guasti  | 4         |
|              | Proporzionamento di reti MT e BT                           | 1         |
|              | Regolazione di tensione                                    | 1         |
|              | Componenti e criteri di coordinamento                      | 2         |
| <b>H0890</b> | <b>Conversione statica dell'energia elettrica</b>          | <b>11</b> |
|              | Strutture, componenti e dimensionamento                    | 3         |
|              | Analisi della commutazione forzata                         | 2         |
|              | Invertitori e dinamica della conversione polifase          | 3         |
|              | Applicazioni industriali                                   | 3         |
| <b>H1435</b> | <b>Disegno tecnico industriale/Costruzione di macchine</b> | <b>10</b> |
|              | Disegno tecnico industriale                                | 4         |
|              | Costruzioni di macchine                                    | 6         |
| <b>H3110</b> | <b>Macchine</b>  | <b>10</b> |
|              | Termofluidodinamica  | 2         |
|              | Turbine a vapor d'acqua                                    | 3         |
|              | Turbomacchine a gas  | 3         |
|              | Turbomacchine idrauliche                                   | 2         |

## **CORSI ELETTRICI SPECIALISTICI**

| <b>V ANNO</b>                | <b>I PERIODO DIDATTICO</b>   | <b>CREDITI</b> |
|------------------------------|--|----------------|
| <b>H3780</b>                 | <b>Modellistica dei sistemi elettromeccanici</b>                           | <b>10</b>      |
|                              | Modelli generali delle macchine elettriche                                 | 3              |
|                              | Conversione elettromeccanica in c.c. – Modelli                             | 2              |
|                              | Conversione elettromeccanica in c.a. – Modelli                             | 5              |
| <b>H1770</b>                 | <b>Electronica industriale di potenza</b>                                  | <b>10</b>      |
|                              | Conversione alternata continua non controllata e filtri di potenza         | 3              |
|                              | Conversione alternata continua controllata                                 | 4              |
|                              | Dimensionamento termico, protezioni, strutture di regolazione, trasduttori | 3              |
| <b>H1060</b>                 | <b>Costruzioni elettromeccaniche</b>                                       | <b>10</b>      |
|                              | Attualità e prospettive dell'elettromeccanica                              | 2              |
|                              | Struttura e dimensionamento preliminare delle macchine elettriche          | 3              |
|                              | Avvolgimenti distribuiti   | 3              |
|                              | Circuiti magnetici ed esempi di progetto elettrico                         | 2              |
| <b>HA180</b>                 | <b>Propulsione elettrica</b>   | <b>10</b>      |
|                              | Applicazioni ferroviarie   | 3              |
|                              | Applicazioni metropolitane, people mover e tramviarie                      | 3              |
|                              | Trazione su gomma  | 3              |
| Propulsione navale elettrica | 1  |                |
| <b>H2702</b>                 | <b>Impianti elettrici II</b>   | <b>10</b>      |
|                              | Sistemi di produzione dell'energia elettrica                               | 2              |
|                              | Reti elettriche di trasmissione  | 3              |
|                              | Gestione e controllo del sistema elettrico                                 | 3              |
|                              | Guasti e protezioni  | 2              |
| <b>H5450</b>                 | <b>Tecnica della sicurezza elettrica</b>                                   | <b>10</b>      |
|                              | Legislazione, normativa e principi generali di sicurezza                   | 2              |
|                              | Protezione contro i contatti diretti e indiretti                           | 4              |
|                              | Protezione contro le sovracorrenti   | 3              |
|                              | Impianti elettrici in ambienti particolari                                 | 1              |

| V ANNO       | II PERIODO DIDATTICO  | CREDITI   |
|--------------|---|-----------|
| <b>H0390</b> | <b>Azionamenti elettrici per l'automazione</b>                  | <b>11</b> |
|              | Tipologia e controllo di azionamenti. Servoazionamenti in c.c.  | 3         |
|              | Servoazionamenti brushless                                      | 4         |
|              | Azionamenti ad induzione. Azionamenti sincroni a riluttanza     | 4         |
| <b>H0290</b> | <b>Applicazioni industriali elettriche</b>                      | <b>10</b> |
|              | Elementi di calcolo binario e algebra booleana                  | 2         |
|              | Sistemi logici non programmabili                                | 5         |
|              | Sistemi logici programmabili                                    | 5         |
| <b>HA170</b> | <b>Distribuzione ed utilizzazione dell'energia elettrica</b>    | <b>10</b> |
|              | Sovracorrenti e relative sollecitazioni                         | 4         |
|              | Arco elettrico e interruzione di correnti continue ed alternate | 2         |
|              | Apparecchi di protezione contro le sovracorrenti                | 3         |
|              | Cavi elettrici e scelta delle protezioni                        | 2         |
| <b>H4980</b> | <b>Sistemi elettrici per l'energia</b>                          | <b>10</b> |
|              | Regolazione della frequenza                                     | 4         |
|              | Dinamica delle macchine elettriche                              | 3         |
|              | Regolazione della tensione                                      | 2         |
|              | Stabilità   | 1         |
| <b>H2800</b> | <b>Impianti speciali idraulici</b>                              | <b>10</b> |
|              | Idraulica generale  | 5         |
|              | Impianti idroelettrici  | 5         |
| <b>H2703</b> | <b>Impianti elettrici (progettazione)</b>                       | <b>10</b> |
|              | Sistemi di distribuzione pubblica e industriale                 | 2         |
|              | Progetto di impianti elettrici                                  | 7         |
|              | Impianti elettrici speciali                                     | 1         |

Titolo: I

Autore: B. - Traduttore: A.

Collana: CUE

**CONTENUTI DEL CORSO**

... presuppone un'abilità al disegno e al ragionamento figurativo. Per-  
... dell'analisi delle funzioni reali di variabile  
... differenziale e integrali una metodologia  
... collegi numerici e al-  
... alle loro applicazioni.

**PROGRAMMI  
DEGLI INSEGNAMENTI**

... generali fondamentali di algebra, di geometria elementare, di trigonometria e di  
... applicabili alla scuola secondaria superiore.

... sviluppo automatico; Inquadramento logico di relazioni e funzioni.

... Principio di induzione; Corollari di calcolo combinatorio; Insieme numerici.

... proprietà qualitative delle funzioni reali di variabile reale [12 ore]

... limiti e teoremi sui limiti; limiti di

... Continuità tra funzioni infinite e infinite; Asintoti orizzontali. [16 ore]

... sistema di Bolzano-Weierstrass; Funzioni esponenziali. [6 ore]

... proprietà della funzione continua; teoremi degli zeri e applicazioni; continuità delle

... geometria di Weierstrass; continuità uniforme. [6 ore]

... differenziale; regole di derivazione applicative; alla studio della monotonia e

... Taylor e Lagrange, con applicazioni; Polinomi di Taylor; teoremi sul resto e appri-

... Teoremi di polinomi di Taylor; Applicazione allo studio della convessità in un punto

... Teoremi di convessità in un intervallo. [12 ore]

... Teoremi di indefinità per funzioni continue a tratti; Regole di integrazione. [4 ore]

... (di Riemann); classi di funzioni integrabili; media integrale; proprietà

... e derivazioni relative all'integrale definito; Teoremi integrali: proprietà e te-

... del calcolo integrale. [4 ore]

... criteri di convergenza. [6 ore]

... differenziali e variabili separabili; equazioni differenziali lineari del primo e

... ordine. [6 ore]

**MODULO 2/O ESERCITAZIONI**

... organizzare gli argomenti delle lezioni e poterne essere di ausilio o studio  
... del personale docente, o ruolo ai rispettivi livelli dagli allievi.

**BIBLIOGRAFIA**

- ... di analisi.
- ... di Ricci, Analisi elementare I, Lipari.
- ... di
- ... di C. Deo, Percorsi di matematica, Feltrinelli.
- ... di G. Costantini, Elementi di Analisi matematica, Loescher di Treviso.

## H0231 ANALISI MATEMATICA I

Anno: 1  
Impegno (ore sett.)  
Docente:

Periodo: 1  
lezioni: 6  
esercitazioni: 4

Luisella CAIRE

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

- 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]
- 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]
- Successioni; Teorema di Bolzano-Weierstrass; funzione esponenziale. [6 ore]
- Proprietà globali delle funzioni continue: teorema degli zeri e applicazioni; continuità della funzione inversa. Teorema di Weierstrass; continuità uniforme. [6 ore]
- Derivata e differenziale; regole di derivazione; applicazioni allo studio della monotonia e degli estremi. [4 ore]
- Teoremi di Rollè 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]
- Primitive (integrale indefinito) per funzioni continue a tratti. Regole di integrazione. [4 ore]
- 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]
- Integrali impropri e criteri di convergenza. [6 ore]
- Equazioni differenziali a variabili separabili, equazioni differenziali lineari del primo e secondo ordine. [6 ore]

### LABORATORI E/O 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*, Liguri.

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.

Anno: 2  
Impegno (ore sett.)  
Docente:

Periodo: 1

lezioni: 6      esercitazioni: 4

**Andrea BACCIOTTI, Paolo BOIERI, Maria Teresa GALIZIA**

(Dipartimento di Matematica; ricevimento da concordarsi presso il Dipartimento ove sono esposti i numeri telefonici)

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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 I, Geometria.

### **PROGRAMMA**

#### **I MODULO 1**

- 1) Serie numeriche, convergenza assoluta (durata: 6 ore di lezione, 3 di esercitazione).
- 2) Topologia dello spazio euclideo  $n$ -dimensionale, successioni; spazi vettoriali normati e successioni di funzioni; convergenza uniforme (durata: 8 ore di lezione, 2 di esercitazione).
- 3) Serie di Taylor e serie di potenze (durata: 8 ore di lezione, 6 di esercitazione).
- 4) Serie di Fourier: convergenza quadratica, puntuale e uniforme (durata: 6 ore di lezione, 4 di esercitazione).
- 5) Sistemi differenziali: sistemi di equazioni differenziali e problemi di Cauchy (durata: 4 ore di lezione); equazioni e sistemi lineari a coefficienti costanti (durata: 8 ore di lezione, 4 di esercitazione).

#### **II MODULO**

- 6) Funzioni di più variabili: continuità, calcolo differenziale, formula di Taylor, massimi e minimi liberi (durata: 16 ore di lezione, 6 di esercitazione).
- 7) Calcolo differenziale su curve e superfici, funzioni implicite, massimi e minimi vincolati (durata: 8 ore di lezione, 6 di esercitazione).
- 8) Calcolo integrale in più variabili: misura degli insiemi, integrali multipli (durata: 8 ore di lezione, 4 di esercitazione).
- 9) Integrali su curve e superfici, integrali di linea e di flusso, campi vettoriali, Teoremi di Green, Gauss, Stokes (durata: 8 ore di lezione, 4 di esercitazione).

### **LABORATORI E/O 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*

P. Marcellini, C. Sbordone, *Esercitazioni di Matematica*, volume secondo, (parte prima e seconda), Liguori 1991.

S. Salsa, A. Squellati, *Esercizi di Analisi Matematica 2*, (parte prima, seconda e terza) Masson 1993.

M. Mascarello, L. Mazzi, Temi d'esame di Analisi Matematica II del Politecnico di Torino, Progetto Leonardo, 1996.

M. Spiegel, Manuale di Matematica, Collana SCHAUM, Edizione italiana ETAS, 1974.

## 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.

Al termine del primo modulo è prevista una prova di accertamento il cui superamento esonera, limitatamente agli appelli della sessione invernale, dallo svolgimento degli esercizi contenuti nella prova scritta relativi alla parte del programma trattata nel primo modulo. Maggiori dettagli sulle modalità di svolgimento delle prove saranno forniti all'inizio del corso.

|                      |                                    |
|----------------------|------------------------------------|
| Anno: 3              | Periodo: 1                         |
| Impegno (ore totali) | lezioni: 50      esercitazioni: 12 |
| Docente:             | <b>Giancarlo TEPPATI</b>           |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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.

### REQUISITI

Analisi I e II.

### 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.  
 G. Teppati, *Esercizi svolti di Analisi matematica III*.

### ESAME

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



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.

## LABORATORI E/O 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.

Le esercitazioni di laboratorio comprendono l'eventuale realizzazione dei sistemi progettati durante le esercitazioni in aula. Le esercitazioni al computer 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: x             | Periodo: 1                       |
| Impegno (ore sett.) | lezioni: 4      esercitazioni: 4 |
| Docente:            | <b>Guido BELFORTE</b>            |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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, contattori 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 programmazione (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]

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

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 ciascuna 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: 5                      Periodo: 1  
Impegno (ore sett.)      lezioni: 10  
Docente:                    **Francesco DONATI**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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**

*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.

*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.

La specifica dei requisiti di sistema.

*La concezione del sistema di automazione.*

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

*La progettazione della logica di controllo.*

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

*La simulazione numerica come strumento di progetto.*

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

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

*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.

Anno: 5  
Crediti: 10  
Docente:

Periodo: 2

**Alfredo VAGATI** (collab.: **Michele PASTORELLI**)

**I MODULO: CONTROLLO DEGLI AZIONAMENTI. AZIONAMENTI IN CORRENTE CONTINUA**

Impegno (ore sett.) lezione:8

Crediti: 5

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il modulo ha lo scopo di introdurre al mondo degli azionamenti controllati, in particolare a quelli ad alte prestazioni (macchine utensili, robotica, ecc.). Si fa riferimento ai soli azionamenti in corrente continua in quanto quelli, più moderni, in corrente alternata vengono trattati nel secondo modulo.

### **REQUISITI**

Controlli Automatici.

### **PROGRAMMA**

- Elementi caratteristici di un azionamento.
- Tipologie applicative varie.
- Azionamenti ad alte prestazioni: "assi" e "mandrini"
- Controllo di macchina e Controllo di azionamento.
- Equazioni del motore a corrente continua. Approccio induttivo alla struttura di controllo in cascata.
- Limitazioni fisiche, compensazione PI ed effetto coda, fenomeno del wind-up.
- Effetto dinamico degli accoppiamenti elastici, lato tachimetro e lato carico.
- Effetto dell'ondulazione tachimetrica sulle prestazioni del controllo di velocità.
- Possibile impiego e limiti delle tecniche di osservazione del carico.
- Moderni materiali magnetici permanenti e loro impiego motoristico.
- Servomotori a corrente continua: descrizione, specificità e modello termico.
- Amplificatori switching (chopper) per il controllo dei servomotori in corrente continua. Quadranti di funzionamento, tecniche di comando e di modulazione.
- Perdite dovute alla modulazione e dimensionamento energetico in frenatura.
- Cenni sui componenti elettronici di potenza (Mosfet, IGBT). Commutazione non assistita (monoquadrante). Commutazione assistita al turn-on e al turn-off.
- Cenni sulla struttura a bus risonante. Cenni sui circuiti di pilotaggio, ausiliari e di protezione.
- Riepilogo sul controllo di macchina del servomotore a corrente continua. Estensione al caso di un azionamento per mandrino (deflussaggio, stima del flusso).
- Limitazioni degli azionamenti in corrente continua e motivazioni fisico-pratiche verso l'impiego dei motori in corrente alternata.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Non sono previste esercitazioni di laboratorio.

### **BIBLIOGRAFIA**

- Raccolta slides di presentazione

### **ESAME**

L'esame consiste in una prova orale, che verrà svolta congiuntamente a quella relativa al II modulo, per coloro che seguono entrambi i moduli.

## **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il modulo prosegue il viaggio nel mondo degli azionamenti ad alte prestazioni, descrivendo le moderne tipologie di controllo di macchina, facenti uso di motori in corrente alternata.

## **REQUISITI**

I Modulo, Macchine Elettriche (I Modulo).

## **PROGRAMMA**

- Servoazionamenti Brushless: generalità. Schemi di principio trapezio e sinusoidale.
- Motore Brushless e relativa modellistica: flusso concatenato prodotto dai magneti permanenti. Progettazione di tipo trapezia. Progettazione di tipo sinusoidale.
- Auto e mutue induttanze. Relazione tensione-corrente e modello magnetico. Bilancio energetico ed equazioni di coppia.
- Controllo di coppia di tipo trapezio (scalare): corrente equivalente.
- Analisi della commutazione del Brushless trapezio: caso six-step, caso con controllo del bus in continua.
- Controllo PWM del servomotore trapezio: tecniche di comando bipolare e unipolare.
- Tachimetro brushless: descrizione e particolarità di impiego.
- Controllo di coppia di tipo sinusoidale (vettoriale). Trasformazioni di assi. Equazioni di macchina in assi rotorici.
- Controllo vettoriale di corrente. Diverse tecniche di realizzazione e loro specificità.
- Tecniche di modulazione e loro limiti. Comportamento in saturazione di tensione.
- Misura della posizione angolare (resolver, encoder).
- Brushless anisotropo e sue problematiche di impiego.
- Azionamento di motori a induzione a controllo vettoriale: modello dinamico della macchina e principio generale di controllo.
- Individuazione del riferimento. Stimatori  $V$ ,  $I$  e  $L$ ,  $w$ . Osservatore di flusso di ordine ridotto. Osservatore di ordine pieno.
- Schemi vari di controllo (diretto, indiretto, ecc.).
- Prestazioni dell'azionamento a induzione nel campo a potenza costante.
- Azionamenti con motori sincroni a riluttanza: generalità e tecniche costruttive di macchina.
- Moderni motori ad alta anisotropia a laminazione trasversale.
- Prerogative di controllo del motore sincro a riluttanza.
- Motore sincro a riluttanza assistito da magneti permanenti: motivazioni e controllo.
- Considerazioni comparative tra le diverse soluzioni in corrente alternata e conclusioni applicative.

## **LABORATORIO E/O ESERCITAZIONI**

Verranno effettuate dimostrazioni pratiche del funzionamento di azionamenti in corrente alternata per asse e per mandrino. Saranno utilizzati azionamenti impiegati industrialmente, con visualizzazione dei segnali di stato (10 ore).

## **BIBLIOGRAFIA**

- Raccolta slides di presentazione

## **ESAME**

L'esame consiste in una prova orale, comprensiva anche degli argomenti inerenti il I modulo.

## H0510 CALCOLO NUMERICO

Anno: 2                      Periodo: 2  
Impegno (ore sett.)      lezioni: 6                  esercitazioni: 2  
Docente:                    **Ezio VENTURINO**

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 I e II, Geometria, Fondamenti di informatica.

### PROGRAMMA

- *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.
- *Sistemi lineari.* [12 ore]  
Metodo di eliminazione di Gauss. Decomposizione di Gauss e fattorizzazione LU. Determinazione matrice inversa. Metodi iterativi: Jacobi, Gauss-Seidel, SOR.
- *Autovalori di matrici.* [6 ore]  
Metodo delle potenze inverse. Trasformazioni di similitudine e trasformazioni di Householder. Cenni sul metodo QR.
- *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.
- *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.
- *Calcolo di integrali.* [8 ore]  
Formule di quadratura di tipo interpolatorio: formule di Newton-Cotes e formule gaussiane. Formule composte. *Routines* automatiche.
- *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*.
- *Equazioni alle derivate parziali.* [10 ore]  
Caratteristiche. Classificazione delle equazioni quasi-lineari del secondo ordine. Metodi alle differenze finite.

### LABORATORI E/O 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.

Anno: 1

Periodo: 1

Impegno (ore sett.)

lezioni: 6

esercitazioni: 2

Docente:

**Aldo PRIOLA****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

In questo corso ci si propone di illustrare le leggi fondamentali della chimica e 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 i legami chimici (14 ore).*

Le leggi fondamentali della chimica. La struttura dell'atomo. Comportamento chimico degli elementi, tavola periodica. Legami chimici: ibridizzazione; valenza. Significato quantitativo delle formule e principali tipi di 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. (4 ore)*

Proprietà dei liquidi e delle soluzioni. Modi di esprimere la concentrazione delle soluzioni. 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. Ordine di reazione e molecolarità. Energia di attivazione. Aspetti cinetici e termodinamici nei processi chimici.

*Equilibrio chimico (8 ore)*

La legge dell'azione di massa dedotta da considerazioni cinetiche. Principio di Le Chatelier. Equilibri in fase omogenea ed eterogenea. Equilibri in soluzione: dissociazione di acidi e basi (pH), idrolisi, soluzioni tampone.

*Elettrochimica (7 ore)*

I potenziali standard di riduzione: equazione di Nernst. Spontaneità delle reazioni di ossidoriduzione. 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.

## LABORATORI E/O 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.  
R. Michelin, A. Munari, *Fondamenti di Chimica per l'Ingegneria*, Cedam, Padova.

## 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 quesiti 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.

Anno: 4

Periodo:1

Impegno (ore sett.)

lezioni: 6

esercitazioni: 4

laboratori: 2

Docente:

**Giovanni FIORIO****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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**

- *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.
- *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.
- *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.
- *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.
- *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.
- *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.
- *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.
- *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.
- *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.

## **LABORATORI E/O 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.

|                      |                 |                   |                |
|----------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Anno: 5              | Periodo: 1      |                   |                |
| Impegno (ore totali) | lezioni: 60     | esercitazioni: 20 | laboratori: 20 |
| Docente:             | Donato CARLUCCI |                   |                |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

- 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.
- Analisi di sistemi lineari multivariabili nel dominio della frequenza. Principali proprietà della matrice di trasferimento, zeri e poli: definizioni e significato fisico.
- Differenti espressioni della matrice di trasferimento in catena chiusa per i sistemi multivariabili. Matrice di trasferimento d'anello.
- Stabilità di un sistema reazionato e generalizzazione del teorema di Nyquist ai sistemi multivariabili.
- Tecniche di progetto del controllo nel dominio della frequenza per sistemi multivariabili.
- Teoria del piazzamento dei poli in catena chiusa per sistemi multivariabili. Criteri generali di esistenza della soluzione.
- Algoritmi per il piazzamento dei poli mediante reazione sullo stato del sistema.
- Uso di reazioni sull'uscita e progetto assistito dal calcolatore del compensatore dinamico.
- Le strutture di controllo più diffuse nel campo industriale: filtri, compensatore PID. Trattamento dell'incertezza e tecniche di progetto del controllo per sistemi incerti.
- Valutazione dell'affidabilità di un sistema di controllo: criteri generali e metodi di simulazione.
- Validazione del progetto, valutazione di costi (*hardware* e *software*) e dei benefici.

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

#### 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.

### Laboratori

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.

Anno: 5

Periodo: 2

Impegno (ore totali)

lezioni: 80

esercitazioni: 20

Docente:

**Maurizio VALLAURI****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso intende presentare i fondamenti teorici e metodologici dei sistemi campionati lineari, con un particolare accento sulla stabilità e sul progetto di regolazioni campionate nello spazio di stato e con una introduzione alle regolazioni adattive.

**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, concetti 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. Cenni sui regolatori adattivi nei parametri.

**LABORATORI E/O 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.

**BIBLIOGRAFIA**

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

Per eventuali approfondimenti possono essere utilmente consultati:

O.Föllinger: *Lineare Abtastsysteme*, 4. Auflage, R.Oldenbourg Verlag, München-Wien, 1990.

R.Isermann: *Digitale Regelsysteme*, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1987.

V.Strejč: *State Space Theory of Discrete Linear Control*, John Wiley & Sons, New York, 1981.

M.Athans et al.: *Systems, Network, and Computation. Multivariable Methods*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1974.

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

## **ESAME**

Consiste in due prove scritte; lo svolgimento di un tema di carattere teorico senza materiale di riferimento e, immediatamente dopo, la risoluzione di uno o più problemi, con libera consultazione di libri, note ecc.

Eventuale successivo accertamento orale se il candidato lo desidera.

Anno: 4

Impegno (ore totali)

Docente:

Periodo: 2

lezioni: 85      esercitazioni e laboratori: 35

**Antonino FRATTA**

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso è il primo sulla conversione nell'ambito del Corso di Laurea. Viene impostato come corso di base sulla conversione statica, e tratta in modo approfondito le tipologie di convertitori che impiegano transistori di potenza e la commutazione forzata controllata dal circuito di pilotaggio. La comprensione dei fenomeni fisici fondamentali e la relativa trattazione analitica viene assiduamente correlata con la realtà tecnologica, con la finalità di fornire gli strumenti per una oggettiva capacità professionale.

Coerentemente, l'elevato numero di ore di esercitazione viene dedicato alla familiarizzazione con componenti, specifiche tecniche, programmi di simulazione e applicazioni allo stato dell'arte della conversione statica di media potenza.

### **REQUISITI**

Analisi Matematica I e II; Elettrotecnica.

Consigliato un corso di base di Elettronica Controlli Automatici.

### **PROGRAMMA**

1) Introduzione alla conversione a commutazione statica. [6]

Generalità. Configurazione della conversione. Sistemi di alimentazione e conversione regolata.

Definizioni. Qualità e Obiettivi. Tipologie delle connessioni elettriche.

Generalità sulla commutazione di circuiti elettrici. Interruttori e modalità di commutazione, naturale e forzata. Peculiarità degli interruttori a semiconduttore. Comando e pilotaggio.

2) Strutture di conversione fondamentali e derivate. [10]

Compatibilità della commutazione forzata. La cella canonica. Coefficienti di trasferimento e di dimensionamento.

Derivazione di strutture per disposizione dei circuiti elettrici esterni. Convertitori diretti e indiretti. Conversione multiquadrante con singola cella.

Derivazione per composizione di celle canoniche. Ponte alimentato in tensione (VSI). Ponte duale (CSI). Conversione DC/AC. Invertitori polifase VSI.

Deviatore di corrente polifase. Inverter trifase CSI. Conversione diretta AC/AC e indiretta AC/DC/AC.

Strutture statiche fondamentali. La cella non reversibile e unidirezionale. Composizioni multi-quadrante. Deviatore polifase unidirezionale e commutazione naturale. Classificazione secondo i principali campi di applicazione.

3) Transistori e diodi per la commutazione. [6]

Caratterizzazione dei transistori di potenza. Vincoli di temperatura e caratteristiche termiche. MOSFET, BJT's, IGBT.

Diodi di potenza. Caratteristiche statiche e tipologie. Fenomeni dinamici e modello del reverse recovery.

4) Dinamica delle commutazioni forzate. [8]

Modelli dinamici circuitali (pilotaggio, transistor e circuito in commutazione).

Dinamica delle transizioni in zona attiva, di corrente e di tensione. Transizione assistita (snubber).

Analisi delle commutazioni. Sequenza completa delle fasi. Calcolo e ottimizzazione dell'energia. Ulteriori non idealità dinamiche dei transistori e dei diodi soft-recovery.

- 5) Dimensionamento affidabile della conversione statica. [4]  
 Applicazione dei vincoli di dimensionamento. Temperatura massima. Compatibilità. Fenomeni induttivi e area di lavoro.  
 Affidabilità e dispersione dei parametri. Dissipazione nel periodo di modulazione. Dimensionamento vincolato dei componenti (worst-case design). Rendimento tipico della conversione. Dissipazione con duty-cycle periodico. Cicli termici.  
 Tecniche e circuiti di protezione. Protezioni termiche. Protezioni contro il sovraccarico e il corto circuito. Area di lavoro di picco (overload SOA).
- 6) Analisi di convertitori DC/DC. [6]  
 Efficienza. Coefficienti di perdita dei reattori. Valutazioni comparative. Tecniche di modulazione e dinamica di regolazione. Corrente pulsata. Inserzione del trasformatore e alimentatori isolati.
- 7) Tecnologie, componenti e circuiti per la conversione di media potenza. [4]  
 Modularità e integrazione delle strutture di potenza e di pilotaggio integrati e. Moduli di potenza "intelligenti" (SMART, IPM). Convertitori AC/AC e reattori di filtro. Evoluzione dei componenti (GTO, MCT) e delle strutture di conversione.
- 8) Analisi di convertitori DC/AC. [10]  
 Inverter alimentato in tensione (VSI). Tecniche di modulazione a onda quadra e PWM, bipolari e unipolari. Inverter trifase VSI. Tecniche di modulazione e limiti di tensione. Regolazione di corrente e modulazione diretta.
- 9) Introduzione alla compatibilità di potenza ed elettromagnetica. [4]  
 Reti in continua. Sicurezza dei convertitori e qualità della rete AC (armoniche, transitori). Convertitori di adattamento e PFC. Emissione e immunità. Finalità della normativa sulla compatibilità.
- 10) Applicazioni sulle reti. [4]  
 Gruppi di continuità. Compensatori attivi del fattore di potenza con inverter di tensione, corrente e combinati. Utilizzazione di sorgenti rinnovabili di energia.
- 11) Applicazioni in azionamenti elettrici. [4]  
 Azionamenti a coppia costante e a potenza costante. Peculiarità di dimensionamento dei convertitori, in corrente continua e alternata. Effetti delle tecniche di modulazione.
- 12) Introduzione ad altre applicazioni. [2]  
 Riscaldamento a induzione. Climatizzazione e illuminazione efficiente. Sistemi ausiliari in autoveicoli. Saldatura elettrica.

## **BIBLIOGRAFIA**

- A. Fratta, Dispense del corso di "Conversione Statica dell'Energia Elettrica", Dipartimento di Ing. Elettrica Ind., Politecnico di Torino, CLUT 1998.
- H. Bühler, "Convertisseurs Statiques", Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse, 1991.
- J.G. Kassakian, M.F. Schlecht, G.C. Verghese, "Principles of Power Electronics", MIT, Addison-Wesley, USA, 1992.
- N. Mohan, T. Undeland, W.P. Robbins, "Power Electronics: Converters, Applications and Design", Wiley, New York, USA, 1995.
- W. Leonhard, "Control of Electrical Drives", Springer, Berlin, 1985.

## **ESAME**

L'esame fuori dal semestre sarà normalmente svolto con una prova orale della durata approssimativa di un'ora.

L'esame potrà essere sostenuto durante il corso secondo la seguente articolazione: un primo esonero scritto a metà del corso della durata 90 minuti effettivi; un secondo esonero scritto alla fine del corso della durata 90 minuti effettivi; due relazioni scritte di approfondimento su tematiche relative alle esercitazioni effettivamente svolte durante il corso da consegnare secondo le modalità stabilite dal docente, con possibilità di discussione per la seconda relazione in sede di registrazione del voto finale.

**H1060****COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE**

Anno: 5

Impegno (ore totali)

Docente:

Periodo:1

lezioni: 100

**Carlo ZIMAGLIA****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso ha una sostanziale impronta elettrica, e sviluppa da un lato un approfondimento sulle macchine elettriche volto a individuarne gli aspetti più strettamente applicati a esigenze avanzate di impiego e raccordati con l'evoluzione 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, solo parzialmente recepiti in taluni corsi specialistici di azionamenti o controlli, hanno peraltro oggi ruoli di rilevante importanza nel panorama elettromeccanico. In accordo con questa impostazione l'interesse prevalente è portato sul macchinario industriale e di trazione.

**REQUISITI**

Elettrotecnica I, Macchine Elettriche.

**PROGRAMMA**

- Attualità e prospettive dell'elettromeccanica (20 ore)  
Trasformatori (strutture, modelli, connessioni, transitori).  
Inquadramento delle macchine rotanti; approfondimento di tematiche sul loro impiego convenzionale o nelle forme più attuali.
- Introduzione alle tematiche strutturali delle macchine elettriche (10 ore)  
Materiali, tecnologie, organizzazione produttiva. Normative, collaudo e gestione conservativa.
- Dimensionamento preliminare (15 ore)  
Input significativi e loro correzioni. Tipologie normalizzate di costruzione, raffreddamento, installazione. Scelte inerenti il volume attivo.
- Avvolgimenti distribuiti aperti (20 ore)  
Analisi e sintesi di avvolgimenti polifasi a una o più configurazioni.
- Avvolgimenti distribuiti chiusi (15 ore)  
Avvolgimenti semplici e multipli. Commutazione in regime stazionario, deformato, sinusoidale.
- Circuiti magnetici (10 ore)  
Calcoli magnetici e questioni connesse alle strutture magnetiche.
- Esempi di progetto elettrico (10 ore).
- Eventuali argomenti complementari o monografici (5 ore)

**LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Il corso non presenta una distinzione organica tra lezioni ed esercitazioni; esemplificazioni con partecipazione in vario grado degli allievi vengono amalgamate nel complesso dell'esposizione.

**BIBLIOGRAFIA**

Testo di riferimento: note manoscritte fornite dal docente, integrate da documentazione varie pure fornite dal docente.

Testo complementari: al termine del corso viene fornito un elenco, aggiornato annualmente, di un centinaio di testi attinenti direttamente o indirettamente agli argomenti trattati per sviluppi autonomi suggeriti dal corso.

**ESAME**

Orale.

**H1360****DISCIPLINA GIURIDICA DELLE ATTIVITÀ  
TECNICO- INGEGNERISTICHE**

Anno: x                      Periodo: 1  
Impegno (ore totali)      lezioni: 52      esercitazioni: 10  
Docente:                    **Luciano ORUSA**

---

**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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, 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.

**LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

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

**BIBLIOGRAFIA**

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

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

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



## HA170      DISTRIBUZIONE E UTILIZZAZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA

Anno: 4-5

Periodo: 2

Impegno (ore sett.)

lezioni: 5

esercitazioni: 2

laboratori: 1

Docente:

**Giovanni CANTARELLA**

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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 anomale. 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**

#### *Componenti degli impianti e sovracorrenti*

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.

#### *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.

#### *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.

#### *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.

### *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.

### *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.

### *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.

### *Apparecchi di protezione contro le sovracorrenti*

Interruttori a pieno volume d'olio, a olio ridotto. Interruttori in aria compressa e SF<sub>6</sub>. 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 reineschi 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.

### *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.

### *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.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Esercitazioni di calcolo relative agli argomenti trattati nelle lezioni.

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.

## **ESAME**

Orale.

Anno: 5

Impegno (ore sett.)

Docente:

Periodo: 1

lezioni: 6

esercitazioni: 2

Giovanni BADINO

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Scopo del corso è quello di fornire al futuro ingegnere sia le conoscenze fondamentali per la comprensione degli eventi economici connessi con l'ambiente in cui dovrà operare, sia gli strumenti necessari per affrontare e risolvere i problemi di carattere economico-gestionale tipici della sua professione.

Le due parti (A) e (B) in cui è suddiviso il programma di seguito riportato sono presentate nel corso in modo integrato e, cronologicamente, in parallelo: la parte (B), in particolare, riguarda gli strumenti operativi e i metodi di gestione che vengono applicati nelle "esercitazioni".

### PROGRAMMA

#### Prima Parte:

- Introduzione. Organizzazione, contenuto e obiettivi del corso. I concetti fondamentali dell'economia. I rapporti tra economia e ingegneria. Cenni all'evoluzione del pensiero economico. I grandi temi dell'economia. Origine e sviluppo dei problemi di economia dell'ambiente.
- Produzione ed economia nazionale. Il sistema economico nazionale. Il ruolo della produzione dell'impresa. Flusso dei beni e dei redditi. La contabilità dello Stato. Significato economico dell'import-export.
- Il mercato. Generalità. Caratteristiche di domanda e offerta. Mercato perfettamente concorrenziale e mercati reali.
- La moneta. Cenni storici. Tipi di moneta: legale; bancaria; privata. Il controllo della moneta e del credito. Mercato monetario e mercato valutario.
- L'impresa: contesto giuridico ed economico. Contesto giuridico: tipi di impresa; le società commerciali; la società per azioni. Contesto economico: la retribuzione dei fattori della produzione; schema semplificato di bilancio.
- Sistema fiscale e lavoro. Il prelievo dello Stato sulla produzione. Imposte, tasse e contributi sociali. Il lavoro e il suo costo. Contratti di lavoro collettivi. Statuto dei lavoratori. Retribuzioni e oneri sociali. Costo del lavoro.
- La gestione aziendale: Generalità. Struttura e organizzazione. Le funzioni aziendali. La contabilità generale.
- I costi di produzione. I costi aziendali. La contabilità industriale. I centri di costo. L'analisi di "break-even". Cenni alla teoria dei costi. Il controllo di gestione.
- Finanziamenti e investimenti. Il finanziamento delle imprese: obbligazioni; mutui; leasing; credito commerciale diretto e credito bancario. La valutazione degli investimenti.
- Economia e ambiente. Teoria economica e problemi ambientali. Costi ambientali: internalizzazione delle externalità. La gestione delle risorse naturali non rinnovabili. I principi dell'economia ecologica. Lo sviluppo sostenibile e i suoi strumenti.

#### Seconda Parte

- Analisi e rappresentazione di dati economici: numeri indici e statistica descrittiva.
- Elementi di matematica finanziaria: interesse, capitalizzazione sconto; equivalenza economica; modalità di restituzione dei prestiti.
- Interpretazione di dati energetici. *Energy Management*.
- Economia e Qualità. Distribuzioni di probabilità per il controllo statistico di qualità.
- Il bilancio d'impresa. Stato patrimoniale e conto economico. L'analisi di bilancio mediante indici.

- Il deperimento dei beni strumentali e la sua contabilizzazione (ammortamenti).
- Scelta e valutazione degli investimenti industriali.
- Tecniche speciali di gestione economica. Modelli analitici per la risoluzione di problemi deterministici: gestione degli approvvigionamenti; programmazione lineare; coordinamento e programmazione dei lavori (PERTe GANTT).
- Stime, valutazione del rischio e incertezza. I problemi di stima negli studi economici. Le stime e il processo decisionale. Le decisioni in condizioni di rischio e di incertezza.
- Nuovi strumenti di gestione economico-ambientale della produzione: le tecniche LCA (*Life Cycle Assessment*), ecobilanci; audit-ambientale.

## **BIBLIOGRAFIA**

Testi di riferimento

G.J. Thuesen, K.J. Fabrycky, *Economia per Ingegneri*, Il Mulino, 1994.

D. Zanobetti, *Economia dell'ingegneria*, Patron.

Testi ausiliari

G. Bellandi, *Economia e gestione dell'impresa*, UTET, Torino.

M. Bresso, *Per un'economia ecologica*, NIS, Roma, 1993.

## **ESAME**

Per sostenere l'esame occorre:

1. prenotarsi almeno 8 giorni prima della data dell'appello;
2. consegnare la ricerca personale assegnata (l'assegnazione della ricerca avviene entro il secondo mese dall'inizio del corso, su tema concordato con ciascuno studente);
3. rendere disponibili nel giorno dell'esame scritto le esercitazioni scritte svolte durante il corso.

La prova d'esame consiste in una prova scritta nell'ora e nel giorno indicati per l'appello più una prova orale da sostenere dopo l'esito positivo della prova scritta. La prova orale comprende la discussione della ricerca personale.

Anno: 2

Periodo: 1

Impegno (ore sett.)

lezioni: 4

esercitazioni: 4

Docente:

Giovanni FRAQUELLI (collab.: Elena RAGAZZI)

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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.

### LABORATORI E/O 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 discontinua 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.

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

G. Zanetti, *Economia dell'impresa*, Zanichelli, 1992.

Testi ausiliari

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

G. Zanetti, *Economia dell'impresa*, Zanichelli, 1992.

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

G. Zanetti, *Economia dell'impresa*, Zanichelli, 1992.

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

G. Zanetti, *Economia dell'impresa*, Zanichelli, 1992.

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

G. Zanetti, *Economia dell'impresa*, Zanichelli, 1992.

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

G. Zanetti, *Economia dell'impresa*, Zanichelli, 1992.

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

G. Zanetti, *Economia dell'impresa*, Zanichelli, 1992.

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

G. Zanetti, *Economia dell'impresa*, Zanichelli, 1992.

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

G. Zanetti, *Economia dell'impresa*, Zanichelli, 1992.

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

G. Zanetti, *Economia dell'impresa*, Zanichelli, 1992.

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

G. Zanetti, *Economia dell'impresa*, Zanichelli, 1992.

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

G. Zanetti, *Economia dell'impresa*, Zanichelli, 1992.

Anno: 4  
Impegno (ore sett.)  
Docente:

Periodo:2  
lezioni: 6      esercitazioni: 2  
**Giuseppe CATALANO**

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di analizzare alcune situazioni tipiche in cui si verificano fallimenti del mercato in assenza di interventi appropriati. Nella prima parte vengono toccate tematiche proprie dell'economia pubblica (beni pubblici, esternalità, problema del *free rider*, distorsioni causate da tassazioni di beni particolari). Nella seconda parte si considera la regolamentazione di imprese pubbliche e di imprese private che forniscono servizi di pubblica utilità (acqua, energia elettrica, gas, telecomunicazioni).

### REQUISITI

Economia Politica ed Economia ed Organizzazione Aziendale I.

### BIBLIOGRAFIA

(1) Il corso si basa su:

A. Petretto (1993) *Mercato, organizzazione industriale e intervento pubblico*, Bologna, Il Mulino.  
Dispense distribuite in aula.

(2) Opzionali:

J. Tirole (1991) *Teoria dell'organizzazione industriale*, Milano, Hoepli.

J. Laffront, J. Tirole (1992) *A Theory of Incentives in Procurement and regulation*, Cambridge (MA): MIT Press.

Per i richiami di macroeconomia:

P. Ravazzi, *Il sistema economico*, Roma, La Nuova Italia Scient., 1993, (3.5-3.6;5B; 6).

H. Varian, *Microeconomia*, Venezia: Cafoscarina, 1990 (Cap. 1-9; 14-21).

## HA410 ELETTRONICA

|                      |   |
|----------------------|---|
| Anno: 3              | periodo: 2  |
| Impegno (ore sett.): | lezioni: 4      esercitazioni: 4      laboratori: 2                 |
| Docente:             | <b>Franco MUSSINO</b> (Dipartimento di Elettronica tel 011/5644050) |
|                      | e-mail: MUSSINO @ POLITO.IT, orario ricevimento: Ven. 10:30-12:30   |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso tratta delle applicazioni dei circuiti elettronici analogici e digitali. Dopo aver esaminati 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: caratteristiche del diodo; modelli del diodo; il diodo Zener; circuiti limitatori, sfioratori e raddrizzatori.
- Il transistor bipolare BJT (npn 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 transistor 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  $p$  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 II 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.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

### **ESERCITAZIONI IN AULA**

- 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 transistoro 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 operazionali.
- Calcolo dell'amplificazione e dell'impedenza d'entrata e d'uscita di circuiti controeazionati con metodi vari (nodi, DPI, A e b). Esame della stabilità di amplificatore controeazionato e stabilizzazione con criterio del polo dominante. Risposta di sistema del II 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.

### **ESERCITAZIONI (ASSISTITE) IN 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 - Second edition - McGraw-Hill (esiste la traduzione in italiano)

### **TESTI AUSILIARI (per approfondimenti)**

- Sedra-Smith - Circuiti per la microelettronica - Edizioni Ingegneria 2000.
- E. Perano - Circuiti elettronici - Teoria ed esercizi - 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 - Second edition - The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.
- V. Pozzolo, Caratteristiche di componenti elettronici, Celid.

## **ESAME**

Prova scritta (3 ore) ed orale.

## H1791 ELETTROTECNICA I

Anno: 2

Periodo: 2

Impegno (ore totali)

lezioni: 84

esercitazioni e laboratori: 28

Docente:

**Pier Paolo CIVALLERI**

### PROGRAMMA

- I Il circuito elettrico elementare  
Circuiti, componenti e reti elettriche. Generatori, linee utilizzatori. Gli oggetti elettrici. Reti elettriche. I regimi elettrici. Lo spettro elettromagnetico.
- II Le grandezze funzioni del tempo  
Funzioni continue a tratti. Funzioni costanti, a gradino, impulsive e a rampa. Funzioni periodiche. Funzioni sinusoidali.
- III Tensione, corrente e potenza elettriche  
Gli strumenti di misurazione. La corrente elettrica. Legge delle correnti. La tensione elettrica. Legge delle tensioni. Impulso di corrente ed impulso di tensione. Convenzioni di segno per i bipoli. Potenza elettrica. Lavoro elettrico.
- IV Proprietà di connessione delle reti elettriche  
Il grafico lineare associato ad una rete. Leggi delle correnti e delle tensioni per le reti. Sistemi di correnti e di tensioni indipendenti. Reti piane e dualità. Il teorema delle potenze virtuali.
- V Bipoli adinamici  
Gli oggetti elettrici e i loro modelli. La caratteristica esterna. Esempi di caratteristiche esterne. Bipoli affini e bipoli lineari. Bipoli polinomiali e bipoli lineari a tratti. Comportamento in regime di piccoli segnali. Grandezze espresse in misure relative Bipoli duali.
- VI Bipoli collegati in serie e in parallelo  
Bipoli collegati in serie. Tensione e corrente risultanti. Caratteristica risultante e ripartizione della tensione. Bipoli ideali in serie. Circuiti equivalenti in serie dei bipoli affini e lineari a tratti. Bipoli collegati in parallelo. Corrente e tensione risultanti. Caratteristica risultante e ripartizione della corrente. Bipoli ideali in parallelo. Circuiti equivalenti in parallelo dei bipoli affini e lineari a tratti Bipoli collegati in serie parallelo. Tensione e corrente risultanti. Caratteristica risultante e ripartizione delle tensioni e delle correnti. Bipoli a scala costituiti da resistori ideali Applicazioni. Regolazione della corrente in serie. Reostati. Regolazione di tensione in parallelo. Variatore di tensione resistivo. Divisore di tensione e divisore di corrente. Impianti di distribuzione di energia in serie ed in parallelo.
- VII Multipoli adinamici  
La caratteristica esterna. Esempi di caratteristiche esterne. Multipoli e multiporte. Doppi bipoli lineari. Casi particolari di doppi bipoli lineari. Collegamento dei doppi bipoli lineari.  $N$ -bipoli polinomiali e lineari a tratti.
- VIII Energetica degli  $N$ -bipoli adinamici  
Il bilancio energetico  $N$ -bipoli perfetti. Bipoli di tipo serie. Bipoli di tipo parallelo. Bipoli di tipo generale. Perdite e rendimento. Generatori in parallelo.
- IX Bipoli dinamici  
Le equazioni di stato. Condensatori. Energia dielettrica. Induttori. Energia magnetica. Dualità fra condensatori e induttori. Condensatori in serie e induttori in parallelo. condensatori in parallelo e induttori in serie.

- X Multipoli dinamici  
Generalità. Induttori mutuamente accoppiati. Energia magnetica. Altre rappresentazioni. Circuiti equivalenti. Il trasformatore induttivo come sistema dinamico. Collegamento in serie e in parallelo degli induttori accoppiati.
- XI Reti adinamiche  
Generalità. Il metodo del *tableau*. Il metodo di Newton-Raphson. Il principio di sovrapposizione. Il teorema del bipolo equivalente. Il teorema di spostamento del centro stella. Il teorema del tripolo equivalente. Il teorema di sostituzione. Il teorema di reciprocità. Ulteriori proprietà delle reti adinamiche.
- XII Reti dinamiche del primo ordine  
Circuiti lineari RC ed RL. Circuito RC serie: a) F.e.m. costante; b) F.e.m. sinusoidale. Circuito RL parallelo. Circuito RL serie: a) F.e.m. costante; b) F.e.m. sinusoidale. Circuito RC parallelo. Reti lineari RC e RL. Risposta all'impulso e risposta al gradino. Evoluzione forzata. Reti del primo ordine non lineari.
- XIII Reti dinamiche del secondo ordine  
Circuiti lineari RLC. Risposta al gradino e risposta all'impulso. Risposta all'ingresso sinusoidale. Il circuito LC. Reti lineari del secondo ordine. Il piano delle fasi. Reti del secondo ordine non lineari.
- XIV Reti in regime sinusoidale  
Generalità. Il metodo simbolico. Le equazioni degli elementi ideali. Il diagramma vettoriale. Potenza e lavoro in regime sinusoidale. Il metodo delle potenze. Circuiti RL. Circuiti RC. Circuiti RLC. Circuiti equivalenti di bipoli reali lineari. Circuiti equivalenti di bipoli lineari affini. Circuiti equivalenti di doppi bipoli lineari. Applicazioni: rifasamento dei carichi induttivi. Applicazioni: l'impedenza di irraggiamento di una carica oscillante.
- XV Sistemi polifasi  
Generalità. Il circuito elementare trifase simmetrico ed equilibrato. La trasformazione stella triangolo e triangolo stella per i tripoli bilanciati. La potenza nei sistemi trifasi simmetrici ed equilibrati. Metodi di risoluzione delle reti trifasi simmetriche ed equilibrate. La linea trifase corta. Confronto fra i diversi sistemi di trasmissione. Applicazioni: rifasamento dei carichi induttivi trifasi. Sistemi trifasi dissimmetrici e squilibrati. Componenti simmetriche. Rappresentazione degli oggetti trifasi in componenti simmetriche. Circuiti equivalenti di sequenza. Potenza elettrica in componenti simmetriche. Comportamento delle reti trifasi in condizioni di guasto. Equilibratura di un carico monofase. Il metodo di spostamento del centro stella e il suo duale.
- XVI Reti in regime periodico non sinusoidale  
Generalità. La serie di FOURIER. Potenza in regime periodico non sinusoidale. Correlazione e convoluzione. Reti lineari in regime periodico non sinusoidale. Reti non lineari in regime periodico. Bilanciamento armonico. Regime periodico non sinusoidale nelle reti trifasi. Segnali di durata finita.
- XVII Le equazioni di stato delle reti elettriche  
Formulazione delle equazioni di stato nel caso generale. Estrazione degli induttori e dei condensatori. Equazioni di stato delle reti lineari variabili nel tempo. Equazioni di stato per le reti lineari invariabili nel tempo. Rappresentazione spettrale. Stabilità delle evoluzioni e degli equilibri. Passività.
- XVIII Analisi in frequenza delle reti lineari  
Generalità. L'integrale di FOURIER. Funzione di trasferimento. L'integrale di Laplace. Rappresentazione degli elementi dinamici. Analisi delle reti mediante la trasformata di LAPLACE. Risposta completa ad eccitazioni periodiche. I diagrammi di BODE.

- XIX Teoria generale delle reti lineari invariabili nel tempo  
Considerazioni introduttive. I metodi delle sezioni e dei nodi. I metodi degli anelli e delle correnti di maglia. Considerazioni sui metodi delle sezioni e degli anelli. Il metodo dei nodi modificato.
- XX Doppi bipoli, filtri, linee  
Adattamento energetico. Parametri immagine. Teoria immagine del filtro passa basso. Parametri iterativi. Teoria delle linee di trasmissione. Riflettenza. La matrice di diffusione. Applicazioni.

## 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. Someda, *Elementi di Elettrotecnica Generale*, Bologna, Pàtron, 1981.

**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 transitori sulle linee: alimentazione di una linea a vuoto, alimentazione di una linea chiusa su carico resistivo, induttivo e capacitivo; transitori 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 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.

*Trasformate di Laplace e di Fourier.*

Definizione della trasformata di Laplace. Proprietà basiche 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.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Ogni argomento è corredato di esercitazioni numeriche o esemplificative.

## **BIBLIOGRAFIA**

Libri di riferimento:

Luigi Piglione "Elettrotecnica Filtri-Linee-Campi", Levrotto & Bella, Torino.

Karl Kupfmuller "Fondamenti di Elettrotecnica", Utet, Torino.

Marcello D'Amore "Elementi di Elettrotecnica Campi e Circuiti" edizioni SIDEREA, Roma.

Scipione Bobbio, Emilio Gatti "Elettromagnetismo Ottica" edizione Bollati Boringhieri, Torino.

Stefano Basile "Elettrotecnica vol. II Teoria dei Campi Elementi di Calcolo Tensoriale" edizione Patron, Bologna.

P. Hammond, J.S. Sykulski "Engineering Electromagnetism Physical Processes and Computation", Oxford Science Publications.

H. Woodson, J.R. Melcher "Electromechanical Dynamics part I Discrete Systems" John Wiley & Sons.

D.K. Cheng "Field and Wave Electromagnetics" Addison Wesley.

V. Daniele, A. Liberatore, R. Graglia, S. Manetti "Elettrotecnica" Monduzzi editore, Bologna.

Scipione Bobbio "Esercizi di Elettrotecnica" edizioni CUEN, Napoli.

A. Canova e M. Tartaglia "Esercizi di Elettrotecnica II", Levrotto & Bella, Torino.

Anno: 5  
 Impegno (ore sett.)  
 Docente:

Periodo: 1  
 lezioni: 6      esercitazioni: 4(2)      laboratori: 0(2)  
**Franco MADDALENO**

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 (<1kW).

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, transistor bipolare, transistor ad effetto di campo (MOSFET), IGBT.

*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.

## LABORATORI E/O 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).

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

1. Misure sui diodi.
2. Misura del guadagno di anello.
3. Misure su *buck* e *buck boost* ad anello aperto.
4. Progetto, realizzazione e misura del controllo di *buck* e *buck boost*.
5. Misura su *forward* e *flyback* ad anello aperto.
6. 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.

## ESAME

Nella sessione di esame vi è un appello ogni martedì. L'esame è costituito da uno scritto (prentazione 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 verte per lo più su argomenti trattati a lezione o a esercitazione in aula e ha durata media 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.

Anno: 5

Impegno (ore totali)

Periodo: 1

lezioni: 80

esercitazioni: 14

laboratori: 14

Docente:

*da nominare***PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso, a carattere applicativo, tratta i principali problemi posti dalla 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***Strutture di Conversione non controllata monofase* [8 ore]

- Generalità

Diodo a semiconduttore

Analisi del funzionamento di reti contenenti diodi

- Strutture monofase

Convertitore semionda monofase

Convertitore controfase

Convertitore a ponte monofase

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

- Trasformatore di alimentazione

Richiami sul funzionamento del trasformatore

Potenza di dimensionamento di un trasformatore

Dipendenza dalle dimensioni dei parametri del trasformatore

- Filtri di potenza

Filtro induttivo

Filtro capacitivo

Filtro LC

Circuito equivalente macchina a corrente continua

- 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

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

Diodi controllati

Costituzione fisica

Caratteristiche esterne

Tipi costruttivi

Circuiti impulsatori e trasformatori per impulsi

*Strutture di conversione controllata monofase* [11 ore]

Convertitore controfase

Doppio **contro**fase antiparallelo  
Ponte **mono**fase semicontrollato  
Ponte **mono**fase controllato  
Strutture di **conversione controllata trifase** [11 ore]  
Semionda **trifase**  
Ponte trifase  
**Commutazione e problemi connessi** [4 ore]  
**Dimensionamento termico delle strutture** [5 ore]  
Modelli **termici**  
Dimensionamento termico di massima  
Dissipatori  
**Protezioni** [9 ore]  
- **Protezioni** da sovraccarichi:  
Interruttori **extrarapidi** e fusibili  
Condizionamenti al progetto termico  
- **Sovratensioni**:  
Principali **cause**  
Protezioni **più** usate  
**Sistemi di regolazione** [8 ore]  
Generalità **sulle** strutture di regolazione  
Sfasatori  
Regolazione **ad** anelli separati  
Regolazione **ad** anelli in cascata  
Doppio **controllo** armatura eccitazione  
Regolatore **per** doppio convertitore antiparallelo  
**Trasduttori** [4 ore]  
Trasduttore **di** tensione quasi isolato  
Trasduttori **di** corrente ad effetto Hall  
Trasduttori **di** corrente che impiegano TA  
Reattori **saturabili**  
TA ad **impulsi**

## **LABORATORI E/O 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. XV, 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.

|                      |             |                  |
|----------------------|-------------|------------------|
| Anno: 5              | Periodo: 2  |                  |
| Impegno (ore sett.): | lezioni: 5  | esercitazioni: 3 |
| Docente:             | da nominare |                  |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di fornire agli studenti gli strumenti teorici ed operativi per poter sviluppare l'analisi energetica di tutti quei sistemi nei quali si operano trasformazioni tra le diverse forme di energia. Dopo un'introduzione storica, si introducono i criteri per la classificazione e la quantificazione delle forme di energia primarie. Segue un richiamo dei concetti fondamentali della termodinamica elementare nel quale si approfondiscono in particolare la teoria dell'exergia e della termodinamica della combustione, applicando queste nozioni per il calcolo del comportamento termodinamico e della efficienza dei principali componenti ed impianti energetici. Nella seconda parte del corso, dopo aver introdotto i concetti fondamentali della matematica finanziaria e della teoria della scelta tra diversi investimenti, si approfondiscono i fondamenti della teoria detta termoeconomia con la quale si studiano le implicazioni di tipo economico-finanziario della applicazione della termodinamica ai sistemi energetici. Si danno alcuni cenni ai problemi di costi reali e di tariffe. La terza parte del corso è dedicata alla classificazione degli usi finali dell'energia nel mondo intero e in Italia. Nella parte finale si illustrano i problemi dell'impatto ambientale dei sistemi energetici.

### REQUISITI

È fondamentale aver frequentato i corsi di *Fisica Tecnica* e *Macchine*.

### PROGRAMMA

- *Cenni storici.* Elementi di storia dell'uso dell'energia dalle società preindustriali e paleo industriali a quella contemporanea. Cenni di storia della Termodinamica e del concetto di Energia. [4 ore]
- *Richiami di termodinamica.* Definizioni fondamentali. Lo studio dei fluidi con attrito viscoso. Il lavoro e il calore. Il primo principio della Termodinamica. Energia interna ed Entalpia, I sistemi aperti. Il secondo principio. Il rendimento delle macchine termiche. La disuguaglianza di Planck. Entropia Reversibilità. Applicazione dei principi alle macchine a rinnovamento di fluido (i sistemi aperti) ed ai principali tipi di impianti energetici. [10 ore]
- *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. I concetto di lavoro massimo e di lavoro perso. Il rendimento generalizzato. Analisi exergetica di processi termodinamici semplici. [10 ore]
- *Cenni di termodinamica della combustione e delle reazioni chimiche.* Definizioni. Miscele di gas ideali. Le reazioni chimiche: calcolo dell'energia interna, dell'entalpia e dell'entropia. Condizioni per l'equilibrio. La coordinata di reazione. Reazioni chimiche dei gas ideali. Temperatura di combustione adiabatica. La combustione degli idrocarburi. Il potere calorifico e l'exergia della combustione. [4 ore]
- *Le fonti energetiche.* Le fonti di energia primaria. Le fonti rinnovabili e non rinnovabili. I combustibili fossili. L'energia nucleare. Le riserve accertate e presunte. Il sistema energetico planetario e nazionale. I consumi energetici negli ultimi decenni analizzati per entità e tipologia. I fattori che influenzano i consumi. La struttura dei consumi. Le previsioni dei fabbisogni per il futuro. [4 ore]
- *Le fonti energetiche secondarie.* L'energia elettrica di origine termica, nucleare, idraulica. Gli impianti di cogenerazione. Le pile a combustibile. I sistemi a energia totale. [4 ore]

- *I componenti e le tecnologie degli impianti energetici fondamentali.* Le fonti di energia secondaria, elettrica, idroelettrica, termica e nucleare. Compressori ed espansori. Miscelatori e separatori di fluidi. I condotti percorsi da fluidi viscosi. I combustori a pressione e volume costante. Scambiatori di calore. Condensatori. Rassegna dei principali tipi di impianti energetici con particolare attenzione ai sistemi per la produzione combinata. Analisi degli schemi fondamentali e delle tecnologie per la trasformazione dell'energia dei combustibili in energia termica ed elettrica. 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. I metodi per l'analisi e il calcolo delle reti di distribuzione di fluidi in pressione con particolare attenzione alle reti per il riscaldamento urbano centralizzato. [10 ore]
- *Nozioni elementari di matematica finanziaria.* I concetti di valore e di 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. [4 ore]
- *Energetica industriale e 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 termoeconomica. I metodi di sostituzione. I metodi algebrici di contabilizzazione energetica. L'analisi disaggregata dei costi negli impianti energetici. I parametri di valutazione dell'efficienza energetica ed economica. I metodi di ottimizzazione termoeconomica. [10 ore]
- *Legislazione e normativa.* Rassegna delle norme principali e delle leggi in vigore in Italia e nella Unione Europea in materia di energia. Analisi del sistema delle tariffe energetiche. [2 ore]
- *Cenni allo studio dell'impatto ambientale indotto dagli usi energetici.* I metodi di valutazione. La normativa e le leggi vigenti. [2 ore]

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Esercizi svolti in aula sui temi trattati a lezione. Calcolo completo dei cicli termodinamici per una centrale di cogenerazione a gas (ciclo Joule) e a vapore (ciclo Rankine in controcompressione). Sviluppo completo della analisi energetica, exergetica e termoeconomica di un caso reale per il quale gli allievi sono guidati ad acquisire i dati sul campo, ad ordinarli ed analizzarli secondo i metodi sviluppati nella parte teorica del corso ed a proporre uno studio di fattibilità di soluzioni alternative a quelle rilevate.

### VISITE TECNICHE

Saranno organizzate visite tecniche ad alcuni impianti energetici dell'Italia nord-occidentale, significativi per dimensioni e tecnologia.

## BIBLIOGRAFIA

Appunti delle lezioni e materiale didattico distribuito dal docente

### TESTI AUSILIARI

M.Cali, P.Gregorio, *Termodinamica*, Porgetto Leonardo, Bologna, 1997.

A.Bejan, G.Tsatsaronis, M.Moran, *Thermal Design And Optimisation*, J.Wiley, 1996.

Kotas T. J., *The Exergy Method Of Thermal Plant Analysis*, Butterworths, London 1985

Pedrocchi E., *Previsioni Di Fabbisogno Energetico Per L'italia*, La Termotecnica, giugno 1993, pp.25-

29. *Previsioni Di Fabbisogno Energetico Per Il Mondo*, La Termotecnica, maggio 1993, pp.21-28.

Silvestri M., *Il Futuro Dell'energia*, Bollati Boringhieri, 1989.

## ESAME

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

|                     |             |                  |               |
|---------------------|-------------|------------------|---------------|
| Anno: 4             | Periodo: 2  |                  |               |
| Impegno (ore sett.) | lezioni: 4  | esercitazioni: 2 | laboratori: 2 |
| Docente:            | da nominare |                  |               |

**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si 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**

- Elementi introduttivi. [14 ore]

*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.

*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.

*Fondamenti di energetica.* [8 ore]

Energia ed exergia.

Metodologie per l'analisi energetica ed exergetica dei cicli e delle trasformazioni termodinamiche.

- Le fonti primarie di energia e la loro utilizzazione. [20 ore]

*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.

*Le modalità di vettoriamento.*

*Gli usi finali.*

- Le nuove tecnologie. [10 ore]

*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.

*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.

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

Modelli per la valutazione delle caratteristiche tecnologiche, economiche ed ambientali dei sistemi energetici alle varie scale di analisi.

Struttura e finalità di alcuni programmi e codici per analisi energetica e la redazione di ecobalanci (GRAFENE, TEMIS) e per la programmazione lineare in scenari evolutivi (MARKAL).

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

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.

Anno: 1

Periodo: 2

Impegno (ore sett.):

lezioni: 6

esercitazioni: 2

laboratori: 2

Docente:

Elio MIRALDI

**PROGRAMMA**- *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].

- *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]

- *Meccanica*. [50 ore]*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. *Moti relativi*. [3 ore]

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

*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.

*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).

*Oscillazioni*. [4 ore]

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

*Dinamica dei sistemi*. [26 ore]*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. aricentro. 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.

*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].

*Gravitazione.* [4 ore]

Gravità. Leggi di Keplero.

*Statica dei sistemi*

*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.*

- *Elettrostatica.* [14 ore]

*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.

*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.

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

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

- *Optica geometrica.* [4 ore]

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

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

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:

R. Resnick, D. Halliday, K.S. Krane, *Fisica I*, CEA, Milano, 1993.

J. R. Taylor, *Introduzione all'analisi degli errori*, Zanichelli, Bologna, 1990.

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

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

G. Lovera, B. Minetti, A. Pasquarelli, *Appunti di Fisica I*, Torino, 1982.

*La fisica di Berkeley*, Zanichelli, Bologna.

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.

ANNUNCIO

## H1902      FISICA GENERALE II

|                     |   |                  |               |
|---------------------|---|------------------|---------------|
| Anno: 2             | Periodo: 1  |                  |               |
| Impegno (ore sett.) | lezioni: 6  | esercitazioni: 2 | laboratori: 2 |
| Docente:            | <b>Angelo TARTAGLIA</b> (collab.: <b>Elena TRESSO</b> ) |                  |               |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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. È 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 generale I*). 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 spettrometro di massa; l'effetto Hall. Forze su correnti; l'ampèrometro. 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. Cenni 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 dichroismo; 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 Boltzman 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-Boltzman e di Wien.

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

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

Le esercitazioni in laboratorio 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 transistori 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.

A. Tartaglia, *Esercizi di meccanica quantistica e termodinamica*, CLUT, Torino.

Testi ausiliari:

R. Feynman, *La fisica di Feynman*.

## ESAME

L'esame consta di una prova scritta ed una orale. Lo studente che non consegua 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.

## H2060      **FISICA TECNICA**

|                     |                             |                             |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Anno: 2             | Periodo: 2                  |                             |
| Impegno (ore sett.) | lezioni: 4                  | esercitazioni/laboratori: 4 |
| Docente:            | <b>Michele CALÌ QUAGLIA</b> |                             |

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Scopo del corso è di fornire agli studenti, insieme ai fondamenti teorici della termodinamica, gli strumenti di analisi e di progettazione di dispositivi e impianti per la conversione tra le diverse forme di energia con attenzione a quelli dove è rilevante l'energia termica.

Particolare cura è dedicata ad utilizzare linguaggio e strumenti propri della professionalità dell'ingegnere.

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 passa quindi a studiare 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 studia come questi fenomeni si svolgono in alcuni dispositivi termotecnici fondamentali, come gli scambiatori di calore e i generatori a combustione. Nell'ultima parte del corso si introducono i concetti fondamentali della illuminotecnica.

### **REQUISITI**

Analisi matematica I e II. Fisica I e II.

### **PROGRAMMA**

#### **MODULO 1**

Crediti:1

Scopo della Termodinamica e cenni storici. Definizioni fondamentali. Grandezze primitive e derivate. Processi, spazio degli stati e linee di trasformazione. Processi diretti, inversi e ciclici. Equazioni di stato delle sostanze omogenee semplici.

Definizione di temperatura e cenni di termometria.

Lavoro meccanico e potenza. L'equazione dell'energia meccanica. Il lavoro generalizzato.

#### **MODULO 2**

Crediti:1

Calore e di flusso termico. Calorimetria e trasformazioni principali dei sistemi semplici omogenei. Il primo principio della Termodinamica. Energia interna ed entalpia.

Le macchine termiche ed il loro rendimento. L'irreversibilità dei processi. Il secondo principio della termodinamica. Il ciclo ed il teorema di Carnot. La temperatura assoluta. L'Equazione di Clapeyron. L'entropia. I teoremi del massimo rendimento e del lavoro massimo.

#### **MODULO 3**

Crediti:1

Energia interna, entalpia e potenziali termodinamici per i fluidi omogenei. Le equazioni di Maxwell. Equazioni di stato dei sistemi polifasi e la regola di Gibbs. Le trasformazioni liquido-vapore. L'equazione di Clapeyron. Rappresentazioni nei piani p-v, T-s e h-s.

Equazioni di stato dei gas reali. Fluidi omogenei con attrito ed effetto Joule-Thomson.

#### **MODULO 4**

Crediti:1

I sistemi aperti. Le leggi di conservazione della massa e della quantità di moto. L'equazione di Bernoulli.

Il primo ed il secondo principio per i sistemi aperti.

Introduzione all'energetica: il teorema di Gouy-Stodola e il teorema dell'energia utilizzabile o "exergia". Il rendimento generalizzato e l'efficienza di "secondo principio". Esempi.

#### MODULO 5

Crediti: 1,5

I cicli termodinamici a vapore di Carnot, Hirn e Rankine. Studio del rendimento del ciclo Rankine. Surriscaldamenti e rigenerazione. Le irreversibilità. Le centrali termoelettriche e in cogenerazione.

I cicli termodinamici a gas di Carnot, Otto, Diesel, e di Joule e Brayton. I cicli termodinamici a gas con rigenerazione di Stirling ed Ericsson.

I cicli inversi delle macchine frigorifere e delle pompe di calore. L'efficienza (o COP). Il funzionamento delle macchine frigorifere a compressione di vapore. Introduzione della trafilazione isentalpica. Il diagramma h-log p. Le principali tipologie di macchine che funzionano con cicli inversi. Le compressioni in più stadi. Cicli sovrapposti. Cicli in cascata. Cenni agli impianti ad assorbimento. La liquefazione dei gas e la macchina di Linde.

COMPITO DI ESONERO SUI MODULI DA 1 A 5 COMPRESO.

#### MODULO 6

Crediti: 0,5

Le miscele di gas. Le leggi di Dalton e di Amagat. Psicrometria e miscele aria-vapore acqueo. Grandezze psicrometriche. I diagrammi di Mollier e ASHRAE. Le trasformazioni termodinamiche dell'aria umida. I componenti degli impianti di climatizzazione ambientale. La climatizzazione estiva ed invernale degli edifici. Rappresentazioni sul diagramma di Mollier e cenni agli impianti.

#### MODULO 7

Crediti: 1

Introduzione alla termocinetica. Le equazioni fondamentali dei corpi continui. I fenomeni di scambio termico.

L'equazione fondamentale della conduzione: equazione differenziale e condizioni al contorno. La relazione costitutiva di Fourier. Fenomenologia della conduzione. La conduttività termica. L'analogia elettrica. Problemi applicativi e modelli. Le rappresentazioni a parametri concentrati e il transitorio termico. La soluzione monodimensionale per pareti piane, cilindriche e sferiche. Applicazioni della conduzione alle alette monodimensionali.

#### MODULO 8

Crediti: 1

Irraggiamento: definizioni e grandezze caratteristiche. Il corpo nero. La legge di Stefan-Boltzmann. La legge di Wien. I corpi reali e le leggi di Kirchoff. Scambio di energia radiante tra corpi neri. I fattori di forma. L'analogia elettrica. Scambio di energia radiante tra corpi grigi.

Illuminotecnica: la sensazione luminosa e la curva di visibilità. Le grandezze fotometriche. Classificazione delle sorgenti luminose. Illuminazione da sorgente puntiforme. Le lampade.

#### MODULO 9

Crediti: 1

Proprietà del moto dei fluidi: viscosità, moto laminare e turbolento, il numero di Reynolds. Le interazioni fluido-parete e lo strato limite della velocità e della temperatura su lastre piane e nei condotti. La convezione e l'equazione di Newton. I numeri adimensionali. Formulazioni per la convezione forzata in lastra piana. Cenni al teorema di Buckingham. Lo scambio termico nei condotti. Relazioni adimensionali per la convezione forzata. Fenomenologia della convezione naturale. Relazioni adimensionali per la convezione naturale su lastra piana.

#### MODULO 10

Crediti: 1

Scambiatori di calore a miscela e a superficie: classificazione e caratteristiche costruttive. Calcolo degli scambiatori a superficie: bilanci di energia, flussi termici ed efficienza. I metodi di calcolo "della carta F" ed epsilon-NTU. Gli impianti di climatizzazione ambientale: i circuiti a circolazione naturale e forzata. I camini.

COMPITO DI ESONERO SUI MODULI DA 6 A 10 COMPRESO.

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Esercizi svolti in aula sui temi trattati a lezione e sviluppo di una monografia di termodinamica sul calcolo completo del ciclo termodinamico 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.

Laboratori:

1. Misure di temperatura con diversi sensori.
2. Misura di grandezze psicrometriche in un ambiente.
3. Misure su un impianto frigorifero.
4. Misure su uno scambiatore di calore.

## BIBLIOGRAFIA

### Testi di riferimento:

#### Termodinamica:

M. Cali. P.Gregorio, *Termodinamica*, in 2 voll., Progetto Leonardo, Ed. Esculapio, Bologna, 1997

Appunti delle lezioni e materiale distribuito dal docente.

M. Cali. M. Torchio, *Fisica tecnica, Formulario*, Ed. Politeko, 1998 Torino.

R. Borchellini, M. Cali. M. Torchio, *Fisica tecnica: Esercitazione di Termodinamica*, Ed. Politeko, 1998 Torino.

R. Borchellini, M. Cali. M. Torchio, *Fisica tecnica: Esercitazione di Termocinetica*, Ed. Politeko, 1999 Torino.

#### Termocinetica:

Guglielmini G., Pisoni C., *Elementi di trasmissione del calore*, Ed. Veschi Masson, Milano.

#### Illuminotecnica

Codegone G., *Illuminotecnica*, Ed. Giorgio Torino

#### 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. Sejdlin, *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.

Sono previsti due compiti di esonero, il primo dopo lo svolgimento dei primi cinque moduli, e il secondo al termine del corso.

## H2170      **FONDAMENTI DI INFORMATICA**

|                     |   |                  |               |
|---------------------|---|------------------|---------------|
| Anno: 1             | Periodo: 2  |                  |               |
| Impegno (ore sett.) | lezioni: 6  | esercitazioni: 2 | laboratori: 2 |
| Docente:            |  <b>Enrico MACII</b> |                  |               |

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso intende presentare i fondamenti dell'informatica, con lo scopo di chiarirne i principi teorici per permettere una corretta valutazione delle possibilità applicative degli elaboratori elettronici. Ci si prefigge inoltre di fare acquisire agli allievi una discreta "manualità" nell'uso degli elaboratori, attraverso l'impiego di strumenti di produttività individuali e di un linguaggio di programmazione.

Il corso è propedeutico ai corsi specialistici di informatica. Inoltre fornisce le basi per molti corsi di carattere matematico-fisico che richiedono l'uso del calcolatore per le esercitazioni e lo sviluppo di casi di studio.

### **REQUISITI**

Non esiste nessuna propedeuticità specifica in termini di esami, ma è utile avere buone basi matematiche ed attitudine al ragionamento logico.

### **PROGRAMMA**

#### **CENNI STORICI (2 ore)**

evoluzione del calcolo automatico: breve storia dei calcolatori meccanici, elettromeccanici ed elettronici.

#### **CODIFICA DELL'INFORMAZIONE (10 ore)**

sistemi di numerazione (in particolare il sistema binario); numeri relativi (codifica in modulo e segno ed in complemento a due); numeri frazionari (problemi di approssimazione; codifica fixed-point ed in floating-point; lo standard IEEE-754); codifica BCD; operazioni aritmetiche in binario puro ed in complemento a due; errori di overflow e di underflow; informazioni non numeriche (codici binari, codice ASCII); protezione dell'informazione dagli errori casuali (codici a rivelazione ed a correzione d'errore).

#### **LOGICA BOOLEANA (4 ore)**

variabili booleane, operatori logici (and, or, not, exor), tavola di verità, teoremi booleani, minimizzazione di espressioni logiche

#### **TECNOLOGIA ELETTRONICA (4 ore)**

transistori, porte logiche, circuiti combinatori, flip-flop, circuiti sequenziali, registri; tecnologie elettroniche (MOS, bipolari, circuiti integrati)

#### **ARCHITETTURA DEGLI ELABORATORI ELETTRONICI (8 ore)**

unità di input (buffer, ADC; tastiera, mouse, scanner, tavoletta grafica); unità di output (buffer; video, stampanti, plotter); unità operativa (ALU, registri, flag); memoria (indirizzamento, RAM, ROM; floppy-disk, hard-disk, CD-ROM; nastri magnetici, QIC, DAT); unità di controllo (program-counter, instruction-register, esecuzione di un'istruzione)

#### **IL SOFTWARE (4 ore)**

il sistema operativo (funzionalità; sistemi batch, multitask, time-sharing, real-time, fault-tolerant); gli strumenti per lo sviluppo dei programmi (interprete, compilatore, linker, librerie statiche e dinamiche, debugger, profiler); linguaggi di programmazione (codice macchina, linguaggio assembler, linguaggi ad alto livello)

#### **IL SISTEMA OPERATIVO MS-DOS (4 ore)**

organizzazione interna, interfaccia utente, file di comandi, istruzioni di configurazione.

## STRUMENTI DI PRODUTTIVITÀ INDIVIDUALE (8 ore)

elaborazione di testi e tabelle in formato elettronico; database

## IL LINGUAGGIO C (20 ore)

tipi di dato, istruzioni di assegnazione, operazioni aritmetiche e logiche, istruzioni di controllo, sottoprogrammi e passaggio dei parametri, libreria di I/O, libreria matematica, file di testo.

## TELEMATICA (12 ore)

tipologie di comunicazione (seriale, parallela; sincrona, asincrona; a commutazione di circuito e di pacchetto); reti di calcolatori (topologia a stella, ad anello ed a bus; LAN, MAN e WAN); esempi: lo standard IEEE 802.3, la rete Internet); strumenti di comunicazione in rete (posta elettronica, trasferimento di dati, terminale virtuale; il cibernazio: gopher, veronica, wais, www); sistemi client-server.

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Codifica dell'informazione (2 ore): conversioni tra basi diverse, codifica di numeri relativi e razionali, codifica di informazioni generiche, rivelazione e correzione di errori casuali

Operazioni aritmetiche (2 ore): addizioni e sottrazioni in binario puro ed in complemento a due  
logica booleana (2 ore): verifica di espressioni logiche, costruzione e minimizzazione di funzioni logiche

Architettura degli elaboratori elettronici (2 ore): dimensionamento di componenti e calcolo di prestazioni

I personal computer MS-DOS (4 ore): configurazione software di un PC, scrittura di file di comandi

Programmazione in linguaggio C (16 ore): interfacce a menù, applicazione di formule matematiche, riduzione di dati numerici, analisi di testi

Esercitazioni (assistite) in laboratorio:

uso dei Personal Computer MS-DOS (4 ore)

programmazione in linguaggio C (14 ore)

uso di strumenti di produttività individuale (4 ore)

uso di strumenti per la navigazione in rete (2 ore)

## BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

A. Lioy, "Fondamenti di Informatica - quaderno di testo", Politeko

P. Tosoratti, G. Collinassi, "Introduzione all'informatica", Ambrosiana

J. Purdum, "Guida al C - corso completo di programmazione", Jackson

Testi ausiliari (per approfondimenti):

P. Bishop, "Informatica", Jackson

B. Kernigham, D. Ritchie, "Il linguaggio C", Jackson

## ESAME

L'esame si articola su due prove scritte (una di teoria ed una di programmazione) da superare entrambe nel medesimo appello. Il voto finale è la media aritmetica (arrotondata per eccesso) dei voti riportati nelle due prove scritte.

Per gli allievi regolari è prevista verso la fine di maggio una prova speciale di teoria che, in caso di superamento, esonera per un anno dalla relativa prova scritta permettendo così all'allievo di sostenere negli appelli successivi solo più la prova di programmazione. La prova di esonero resta valida anche in caso di insufficienza in una prova di programmazione. Nel caso che l'allievo si presenti ad una prova di teoria, il voto dell'eventuale prova di esonero viene automaticamente cancellato, indipendentemente dal risultato della prova di teoria.

## H2300 GEOMETRIA

|                     |                            |                  |
|---------------------|----------------------------|------------------|
| Anno: 1             | Periodo: 2                 |                  |
| Impegno (ore sett.) | lezioni: 6                 | esercitazioni: 4 |
| Crediti: 10         |                            |                  |
| Docente:            | <b>Maria Teresa RIVOLO</b> |                  |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il Corso si propone di fornire agli studenti una preparazione di base per lo studio di problemi geometrici nel piano e nello spazio con l'uso di coordinate e di problemi di algebra lineare con l'uso del calcolo matriciale.

### REQUISITI

Elementi di geometria euclidea e di trigonometria; proprietà dei numeri reali, regole elementari del ragionamento logico; nozioni fondamentali del calcolo differenziale.

#### I MODULO : ALGEBRA LINEARE

Impegno (ore totali)    lezioni: 42    esercitazioni: 26    Crediti:6

### PROGRAMMA

Vettori del piano e dello spazio. Numeri complessi ed equazioni algebriche. Spazi vettoriali. Matrici. Sistemi lineari e determinanti. Applicazioni lineari. Autovalori ed autovettori. Cenni su spazi vettoriali con prodotto scalare.

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Operazioni tra vettori. Calcoli con numeri complessi. Esercizi su spazi vettoriali. Operazioni tra matrici. Risoluzione di sistemi lineari. Esercizi su applicazioni lineari. Determinazione di autovalori e autospazi.

#### II MODULO : GEOMETRIA ANALITICA

Impegno (ore totali)    lezioni: 28    esercitazioni: 20    Crediti:4

### PROGRAMMA

Geometria analitica del piano: rette, circonferenze, coniche. Geometria analitica dello spazio: rette, piani, sfere, coni, cilindri, superfici di rotazione, quadriche. Elemento di geometria differenziale delle curve.

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Esercizi su curve piane, in particolare coniche. Esercizi su curve e superfici dello spazio.

### BIBLIOGRAFIA

- S. Greco, P. Valabrega. *Lezioni di Algebra lineare e Geometria* (Vol. I-II). Levrotto e Bella, Torino 1994.  
A. Sanini. *Lezioni di Geometria*. Levrotto e Bella, Torino 1994.  
E. Sernesi. *Geometria I*. Bollati Boringhieri, Torino, 1990.

### ESAME

L'esame si svolge in due prove, una scritta e una orale. Si può ottenere l'esonero dallo scritto sostenendo con esito positivo due prove scritte durante il periodo didattico.

## H2370 GESTIONE DEI PROGETTI D'IMPIANTO

Anno: 5                      Periodo: 2  
Impegno (ore sett.)      lezioni: 4                  esercitazioni: 4  
Docente:                    **Carlo RAFELE**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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.

### **REQUISITI**

Disegno Tecnico, Statistica, Ricerca Operativa, Economia ed Organizzazione Aziendale, Nozioni Giuridiche Fondamentali.

### **PROGRAMMA**

La logistica e gli impianti industriali. Fattori che influenzano la realizzazione di un impianto industriale. La progettazione degli impianti industriali. La sicurezza nella realizzazione dei progetti. (12 ore)

La figura ed i compiti del *project manager*. Il *project management* nelle aziende che operano a commessa. Modelli organizzativi delle società che gestiscono progetti. Fasi di sviluppo delle commesse: progettazione, approvvigionamenti, costruzioni, montaggi, collaudi. (20 ore)

Studi di fattibilità; tecniche di preventivazione; valutazione delle offerte. Organizzazione delle attività di un progetto: la definizione, la pianificazione, la programmazione del progetto, la misura degli avanzamenti e le tecniche di controllo (tempi, costi, qualità), la chiusura. (8 ore).

Aspetti economico-finanziari: bilancio e controllo delle commesse; forme di finanziamento e di pagamento. (8 ore)

Principi di contrattualistica; raggruppamenti di imprese; tipi di contratti e relativa gestione. Rischi e coperture assicurative. Modalità di assegnazione e di gestione delle opere pubbliche. (12 ore)

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Studio di fattibilità di un impianto industriale, applicando gli argomenti svolti a lezione.

Visite ad impianti industriali.

### **BIBLIOGRAFIA**

A. Monte, *Elementi di impianti industriali*, Cortina, Torino.

Dispense fornite a lezione.

### **ESAME**

Scritto con integrazione orale.

## **M2380 GESTIONE DEI SERVIZI ENERGETICI**

Anno: 5                      Periodo: 2  
Impegno (ore sett.)      lezioni: 6                  esercitazioni: 2  
Docente:                    **Valter GIARETTO**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Scopo del corso è quello di consentire agli allievi di acquisire la capacità di analizzare i sistemi di utilizzazione dell'energia, nelle sue varie forme, in relazione agli usi finali, civili ed industriali, e di definire le modalità di gestione tecnico-economica ai fini dell'impiego razionale dell'energia, della compatibilità ambientale e del contenimento della spesa energetica. Particolare attenzione è dedicata alle normative cogenti e consensuali che regolano il settore in termini sia tecnici che contrattuali.

### **REQUISITI**

Energetica 1/Sistemi energetici 1, Energetica 2/Sistemi energetici 2, Sistemi elettrici industriali, Impianti per la cogenerazione e il risparmio energetico.

### **PROGRAMMA**

- Usi finali dell'energia nei settori civile ed industriale: i sistemi energetici delle società industriali avanzate e delle società agricole, gli usi finali dell'energia nel mondo ed in Italia, l'impatto ambientale delle trasformazioni energetiche.
- Obiettivi tecnici della gestione dell'energia: risparmio energetico, uso razionale dell'energia, compatibilità ambientale.
- Obiettivi economici della gestione dell'energia: il contenimento dei costi relativi all'acquisto delle fonti energetiche primarie ed alla conduzione e manutenzione dei sistemi utilizzatori dell'energia.
- Modalità tecniche della gestione dell'energia: monitoraggio dei sistemi energetici, contabilizzazione dei consumi energetici, controllo e conduzione per via telematica, piani di manutenzione programmata.
- Modalità contrattuali della gestione dell'energia: gestione diretta da parte dell'utente finale e gestione affidata a terzi responsabili, tipologia dei contratti utente - fornitore di energia primaria e utente - terzo responsabile.
- Studi di fattibilità tecnico-economici orientati alla modifica delle modalità tecniche e contrattuali di gestione dell'energia.
- Elementi di garanzia della qualità nel settore dei servizi energetici.
- Certificazioni energetiche di componenti e sistemi.

## **PA650 GESTIONE ED ESERCIZIO DEI SISTEMI DI TRASPORTO**

Programma non pervenuto

## H2560 ILLUMINOTECNICA

|                      |             |                   |                |
|----------------------|-------------|-------------------|----------------|
| Anno: 5              | Periodo: 2  |                   |                |
| Impegno (ore totali) | lezioni: 70 | esercitazioni: 20 | laboratori: 10 |
| Docente:             | da nominare |                   |                |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso intende fornire le conoscenze necessarie alla valutazione dell'illuminamento naturale ed artificiale per interni ed esterni ed alla elaborazione di progetti 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 quindi prese in esame le sorgenti luminose ad incandescenza, luminescenza e fluorescenza ed i vari tipi di apparecchi illuminanti.

Si passa quindi 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.

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Calcolo e il progetto 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.

## **H2706    IMPIANTI ELETTRICI (PROGETTAZIONE)**

|                     |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| Anno 5              | Periodo 2                      |
| Impegno (ore sett.) | lezioni 4      esercitazioni 4 |
| Docente:            | <b>Roberto NAPOLI</b>          |

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso è rivolto ad allievi che intendano sviluppare una preparazione professionale nel progetto degli impianti elettrici MT e BT. Dopo una panoramica introduttiva sulle reti di distribuzione, vengono trattati i principali problemi relativi agli impianti elettrici d'utente. Gli allievi saranno impegnati nello sviluppo reale (anche se parziale) del progetto di un impianto elettrico.

### **REQUISITI**

Elettrotecnica.

### **PROGRAMMA**

#### **SISTEMI DI DISTRIBUZIONE ELETTRICA**

Reti di distribuzione pubblica MT e BT. Strutture e componenti. Le cabine di alimentazione. Dimensionamento elettrico e meccanico delle linee. Qualità del servizio elettrico. Armoniche.

#### **PROGETTO DI IMPIANTI ELETTRICI**

Norme e definizioni sui progetti. Struttura di un progetto e relativa documentazione. La progettazione integrata. Informatizzazione delle procedure. Capitolati e prezziari.

Impianti elettrici d'utente. Consumi e tariffe. Caratterizzazione dei carichi.

Sistemi di alimentazione per le utenze normali, privilegiate e sicure. Le cabine elettriche d'utente. Criteri progettuali e scelta dei componenti. Quadri MT e BT. Sistemi di rifasamento. Apparecchiature ausiliarie.

Sistemi di distribuzione elettrica. Architetture e scelta dei componenti. Impianti d'illuminazione e di forza motrice. Impianti in ambienti particolari. Impianti di terra e per la protezione contro le scariche atmosferiche.

Impianti elettrici di segnale. Impianti telefonici, rivelazione incendi, trasmissione dati e fonia. L'edificio intelligente e sistemi a bus.

Gestione e controllo dei sistemi elettrici.

*Impianti elettrici speciali (cenni)*

Impianti elettrici per i trasporti (ferrovie, metropolitane, tram). Impianti elettrici negli aeroporti e negli aeromobili. Impianti elettrici nei porti e nelle navi. Impianto elettrico nell'autoveicolo.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni consistono nello sviluppo e nella discussione di esercizi di scelta e dimensionamento.

Gli allievi, suddivisi in gruppi, dovranno discutere sviluppare il progetto dell'impianto elettrico di un insediamento civile o industriale, preparando (in parte) i vari documenti progettuali. Ciò richiederà agli allievi un impegno particolare, soprattutto per sviluppare gli elaborati progettuali utilizzando tecniche CAD.

### **BIBLIOGRAFIA**

Appunti dalle lezioni.

Documentazione normativa e commerciale

Cataliotti: *Impianti elettrici*. Ed. Flaccovio, Palermo

TuttoNormel: *Documentazione di progetto degli impianti elettrici*

## ESAME

Prova scritta di accertamento nel primo semestre.

L'accertamento finale comprenderà una discussione sugli elaborati progettuali sviluppati.

Per coloro che non usufruiranno degli accertamenti, è prevista una prova finale scritta ed orale.

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso ha lo scopo di formare tecnici capaci di progettare, realizzare e mantenere in funzione impianti elettrici di potenza fino a 1000 kVA, in grado di applicare le norme tecniche e di sicurezza vigenti, di effettuare le verifiche di sicurezza e di eseguire le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

### PROGRAMMA

Il corso ha lo scopo di formare tecnici capaci di progettare, realizzare e mantenere in funzione impianti elettrici di potenza fino a 1000 kVA, in grado di applicare le norme tecniche e di sicurezza vigenti, di effettuare le verifiche di sicurezza e di eseguire le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Il corso ha lo scopo di formare tecnici capaci di progettare, realizzare e mantenere in funzione impianti elettrici di potenza fino a 1000 kVA, in grado di applicare le norme tecniche e di sicurezza vigenti, di effettuare le verifiche di sicurezza e di eseguire le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Il corso ha lo scopo di formare tecnici capaci di progettare, realizzare e mantenere in funzione impianti elettrici di potenza fino a 1000 kVA, in grado di applicare le norme tecniche e di sicurezza vigenti, di effettuare le verifiche di sicurezza e di eseguire le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Il corso ha lo scopo di formare tecnici capaci di progettare, realizzare e mantenere in funzione impianti elettrici di potenza fino a 1000 kVA, in grado di applicare le norme tecniche e di sicurezza vigenti, di effettuare le verifiche di sicurezza e di eseguire le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Il corso ha lo scopo di formare tecnici capaci di progettare, realizzare e mantenere in funzione impianti elettrici di potenza fino a 1000 kVA, in grado di applicare le norme tecniche e di sicurezza vigenti, di effettuare le verifiche di sicurezza e di eseguire le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Il corso ha lo scopo di formare tecnici capaci di progettare, realizzare e mantenere in funzione impianti elettrici di potenza fino a 1000 kVA, in grado di applicare le norme tecniche e di sicurezza vigenti, di effettuare le verifiche di sicurezza e di eseguire le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Il corso ha lo scopo di formare tecnici capaci di progettare, realizzare e mantenere in funzione impianti elettrici di potenza fino a 1000 kVA, in grado di applicare le norme tecniche e di sicurezza vigenti, di effettuare le verifiche di sicurezza e di eseguire le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Il corso ha lo scopo di formare tecnici capaci di progettare, realizzare e mantenere in funzione impianti elettrici di potenza fino a 1000 kVA, in grado di applicare le norme tecniche e di sicurezza vigenti, di effettuare le verifiche di sicurezza e di eseguire le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Il corso ha lo scopo di formare tecnici capaci di progettare, realizzare e mantenere in funzione impianti elettrici di potenza fino a 1000 kVA, in grado di applicare le norme tecniche e di sicurezza vigenti, di effettuare le verifiche di sicurezza e di eseguire le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Il corso ha lo scopo di formare tecnici capaci di progettare, realizzare e mantenere in funzione impianti elettrici di potenza fino a 1000 kVA, in grado di applicare le norme tecniche e di sicurezza vigenti, di effettuare le verifiche di sicurezza e di eseguire le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Le esercitazioni teoriche e pratiche hanno lo scopo di sviluppare e nella discussione di esercizi di calcolo e dimensionamento.

Le esercitazioni pratiche in gruppo dovranno consistere nello sviluppare il progetto dell'impianto elettrico di un edificio civile o industriale, preparando (in parte) i vari documenti progettuali. Le esercitazioni agli allenatori in gruppo potranno essere svolte per sviluppare gli elaborati progettuali utilizzando tecniche CAD.

### BIBLIOGRAFIA

Norme tecniche per impianti elettrici, Ed. Hoepli, Milano.  
Norme tecniche per impianti elettrici, Ed. Hoepli, Milano.  
Norme tecniche per impianti elettrici, Ed. Hoepli, Milano.

## H2701 IMPIANTI ELETTRICI I

Anno: 4                      Periodo: 2  
Impegno (ore sett.)      lezioni: 4 (6)      esercitazioni: 4 (2)  
Docente:                    **Roberto POMÈ**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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 I e II, Macchine elettriche.*

### **PROGRAMMA**

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

### **LABORATORI E/O 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:

Iliceto, *Impianti elettrici*, Patron.

Cataliotti, *Impianti elettrici*, Flaccovio.

## H2702 IMPIANTI ELETTRICI II

Anno: 5                      Periodo: 1  
Impegno (ore sett.)      lezioni: 4                  esercitazioni: 4  
Docente:                    **Roberto NAPOLI**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone di fornire i concetti e le tecniche fondamentali per l'analisi, la gestione ed il controllo dei sistemi elettrici per la generazione e la trasmissione dell'energia elettrica. Vengono in particolare considerati aspetti metodologici della modellizzazione, ottimizzazione e controllo, suscettibili di applicazioni a sistemi complessi di natura anche completamente diversa.

### **REQUISITI**

Elettrotecnica, Macchine elettriche, Impianti elettrici I.

### **PROGRAMMA**

#### **I MODULO : GENERAZIONE E TRASMISSIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA**

##### **ELEMENTI INTRODUTTIVI**

Funzione dell'energia elettrica nel sistema energetico. Caratteristiche principali del sistema elettrico e strutture tipiche per i sistemi di generazione, trasmissione e distribuzione. Qualità del servizio ed obiettivi di gestione e controllo riferiti ai vari orizzonti temporali.

##### **PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA**

Sistemi di generazione dell'energia elettrica. Differenti tipi di centrali. Diagrammi di carico e criteri di utilizzazione delle varie centrali. Margini di riserva ed affidabilità. Previsione dei carichi.

##### **TRASMISSIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA**

Confronto fra corrente continua e corrente alternata. Struttura della rete A.T. Stazioni primarie.

##### **MODELLI PER L'ANALISI**

Modelli dei vari componenti elettrici nel funzionamento a regime. Macchine sincrone: curve limiti, parallelo di alternatori, compensatori, regolatori di potenza e di tensione. Trasformatori: trasformatori a più avvolgimenti, autotrasformatori, trasformatori per la regolazione. Linee di trasmissione: linee aeree, linee in cavo. Condensatori. Apparat statici.

##### **STRUMENTI E TECNICHE PER L'ANALISI**

Matrice delle ammettenze e delle impedenze nodali. Analisi dei flussi di carico: vincoli ed obiettivi. Tecniche di soluzione delle equazioni di load-flow.

#### **II MODULO : GESTIONE E CONTROLLO DI SISTEMI ELETTRICI**

##### **GESTIONE DI UN SISTEMA ELETTRICO**

Caratterizzazione degli stati di funzionamento. Strategie di gestione ottimale del servizio in relazione a prefissati obiettivi. Dispacciamento ottimale. Analisi di sensitività. Valutazioni di sicurezza. Regolazione attiva (frequenza-potenza) e reattiva.

##### **GUASTI E PROTEZIONI**

Studio delle correnti di guasto in grandi sistemi. Sistemi di protezione. Protezione degli alternatori, dei trasformatori e delle linee. Sovratensioni e coordinamento dell'isolamento.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Gli allievi applicheranno le tecniche studiate a semplici sistemi elettrici di studio, anche con l'ausilio del PC. In particolare sono previste esercitazioni numeriche su:

- calcolo delle matrici ammettenza ed impedenza

- soluzione delle equazioni di load-flow
- dispacciamento ottimale puramente termico con e senza perdite
- dispacciamento ottimale misto
- coordinamento dell'isolamento

## **BIBLIOGRAFIA**

Testo di riferimento:

Cataliotti, *Impianti elettrici*, Vol. 2, Flaccovio,

Testi ausiliari:

Iliceto, *Impianti Elettrici*, Patron

Grainger, *Stevenson: Power System Analysis*, Mc Graw Hill

Elgerd, *Electric Energy System Theory*. Mc Graw Hill

Weedy, *Electric Power Systems*, Wiley

## **ESAME**

Prove scritte di accertamento al termine di ogni modulo. Colloquio orale finale.

Per gli allievi che non usufruiranno degli accertamenti, è previsto un esame finale, con scritto di ammissione e prova orale.

## **H2720 IMPIANTI INDUSTRIALI**

Anno: 4                      Periodo: 2  
Impegno (ore totali)      lezioni: 62              esercitazioni: 38  
Docente:                    **Francesco SPIRITO**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Scopo del corso è far conoscere i principali problemi, attinenti agli impianti industriali, con i quali i futuri ingegneri verranno a contatto durante la loro attività professionale e fornire i criteri di progettazione e di gestione degli impianti stessi.

### **REQUISITI**

Statistica, ricerca operativa.

### **PROGRAMMA**

Criteri di progettazione degli impianti industriali. La disposizione dei macchinari e dei reparti.

Applicazione di metodi di ricerca operativa alla progettazione degli impianti industriali.

I trasporti interni agli stabilimenti industriali.

Impianti generali di distribuzione dell'acqua, dell'aria compressa e degli altri servomezzi occorrenti negli stabilimenti industriali.

Impianti di trattamento e ricircolo delle acque primarie e di scarico.

Trattamento dei fanghi e dei rifiuti solidi.

Impianti di aspirazione e filtrazione delle polluzioni atmosferiche prodotte nelle lavorazioni industriali.

Isolamento e riduzione dei rumori e delle vibrazioni in campo industriale.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Progettazione di massima di un impianto industriale.

### **BIBLIOGRAFIA**

A. Monte, *Elementi di impianti industriali*, Cortina, Torino.

## H2780 IMPIANTI PER LA COGENERAZIONE E IL RISPARMIO ENERGETICO

|                     |             |                  |
|---------------------|-------------|------------------|
| Anno: 5             | Periodo: 1  |                  |
| Impegno (ore sett.) | lezioni: 3  | esercitazioni: 3 |
| Docente:            | da nominare |                  |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 I/Sistemi energetici I, Energetica II/Sistemi energetici II.

### PROGRAMMA

- *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.
- *Prestazione di un sistema a cogenerazione*  
Definizione di processo, sistema e centrale di cogenerazione. Classificazione. Condizioni nominale di un sistema di cogenerazione. Parametri significativi.  
*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.
- *Cogenerazione e teleriscaldamento*  
Caratteristiche dell'impianto sotto il profilo energetico e di impatto ambientale. Analisi di fattibilità del teleriscaldamento urbano.
- *Alcune soluzioni* di produzione combinata elettricità-calore. Il sistema Totem. L'impianto di cogenerazione di Vallette. L'impianto di cogenerazione di Torino sud.

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Esercitazioni numeriche relative a sistemi cogenerativi reali.

## H2800      IMPIANTI SPECIALI IDRAULICI

|                      |   |
|----------------------|---|
| Anno: 5              | Periodo: 2                                    |
| Impegno (ore totali) | lezioni: 60      esercitazioni/laboratori: 40 |
| Docenti:             | <b>Enzo BUFFA, Paolo MOSCA</b>                |

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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: 5              | Periodo: 2                                  |
| Impegno (ore sett.): | lezioni: 4      esercitazioni/laboratori: 4 |
| Docente:             | da nominare                                 |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 delle esercitazioni progettuali, attorno alle quali è costruito il programma del corso.

### PROGRAMMA

Classificazione e descrizione generale degli impianti termotecnici. Richiami di termodinamica, meccanica dei fluidi e trasmissione del calore (2 h).

Principi della climatizzazione ambientale: teoria di Fanger del confort termoigrometrico; qualità dell'aria negli ambienti confinati; requisiti e condizioni di progetto per il dimensionamento degli impianti di climatizzazione (4 h).

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 (6 h).

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 h).

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 (6 h).

Impianti di riscaldamento e ventilazione per edifici civili e industriali: tipologie costruttive; problemi di installazione e conduzione; ventilazione naturale e forzata (4 h).

Generatori di calore: tipologie costruttive, bilancio energetico, definizioni e metodi di misura dei rendimenti; camini: metodi di dimensionamento e verifica; riferimenti normativi (4 h).

Normativa per la sicurezza dei generatori di calore e degli apparecchi in pressione (D.M. 1.12.75). Problemi di prevenzione incendi nelle centrali termiche. Normativa per l'installazione delle apparecchiature domestiche a gas (4 h).

Scambiatori di calore: tipologie costruttive; dimensionamento con i metodi LMTD e NTU; norme TEMA. Cenni al comportamento termico in transitorio e al dimensionamento strutturale (4 h).

Centrali per la produzione del freddo: macchine frigorifere e 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 (4 h).

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 supervisione, ecc.) (4 h).

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 (4 h).

Ventilazione delle gallerie: tipologie di impianto; metodi di dimensionamento (2 h).  
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 (2 h).  
Impianti antincendio: principi della prevenzione incendi, requisiti edilizi, sistemi di rilevazione, tipologie degli impianti di spegnimento (6 h).

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Esercitazioni di progetto:

Progetto degli impianti di climatizzazione di un complesso industriale (stabilimento/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.

Progetto della centrale termofrigorifera del complesso industriale: dimensionamento dei generatori di calore e dei gruppi frigoriferi, dimensionamento dei camini, schemi funzionali, apparecchiature di sicurezza e prevenzione incendi.

Esercitazione di 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. Quali testi di riferimento per ulteriori approfondimenti si segnalano:

Anselmi, Lorenzi. "Elementi di impianti di riscaldamento" e "Elementi di impianti di condizionamento dell'aria". Ed. Masson.

Amerio, Sillitti. "Elementi di impianti tecnici". Ed. SEI.

Pizzetti. "Il condizionamento dell'aria". Ed. Masson.

Andreini, Pitimada. "Riscaldamento degli edifici". Ed. Hoepli.

Alfano, Filippi, Sacchi. "Impianti di climatizzazione per l'edilizia". Ed. Masson.

"ASHRAE Handbook" (4 volumi).

## **ESAME**

Prova scritta che consiste in una domanda di teoria, un esercizio numerico e nel commento ad uno schema di impianto; colloquio orale relativo alle sole esercitazioni di progetto e di laboratorio, che potranno essere svolte in gruppi di due (massimo tre) persone. La valutazione si basa per il 50% sulle esercitazioni e per il 50% sulla prova scritta.

## H3000 INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Anno: 5                      Periodo: 2  
Impegno (ore sett.)      lezioni: 6                      esercitazioni/laboratori: 2  
Docente:                      **Elio PICCOLO**

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 concetto 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 Prolog, di *shell* di sistemi aperti e di altri strumenti di intelligenza artificiale.

### PROGRAMMA

*Strategie per la risoluzione di problemi.*

Soluzioni nello spazio degli stati. Soluzione per decomposizione in sotto-problemi. Ricerca ampia, profondità e mediante euristica.

*Logica: monotona, non monotona, fuzzy.*

La logica proposizionale. La logica del primo ordine. La logica di ordine superiore. Le logiche modali e temporali. Procedure di decisione. *Fuzzy logic*.

*Rappresentazione della conoscenza.*

Le reti semantiche. Le regole di produzione. I *frame*. Gli approcci ibridi. Confronti in termini di espressività, potere deduttivo, applicabilità. Modelli di ragionamento e di apprendimento: incertezza, inferenza bayesiana, *belief*. Architetture che imitano i sistemi biologici: reti neurali, connessionismo, memoria distribuita sparsa.

Sistemi basati sulla conoscenza.

I sistemi esperti: problematiche e classificazioni, con particolare riguardo alle applicazioni 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*.  
*Linguaggi non procedurali.*

I linguaggi funzionali con particolare attenzione al LISP. I linguaggi logici, con particolare attenzione al Prolog.

*Riconoscimento e comprensione.*

Tecniche di riconoscimento di configurazioni (*pattern recognition*, approccio statico e sintattico). Il riconoscimento delle immagini. Il riconoscimento del parlato.

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Esecuzione di progetti di varia natura, tramite le metodologie presentate a lezione, legando applicazioni tecnico-ingegneristiche: tecniche per la valutazione di regole; tecniche facciali di sistemi esperti in domini ristretti e *shell* di sistemi esperti; sistemi di riconoscimento del parlato; reti neurali; 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.



- Il contesto normativo in merito ai processi di localizzazione dei sistemi energetici e agli standards ambientali. [8 ore]

Norme e procedure della legislazione nazionale ed internazionale.

- Gli standards di qualità ambientale. Normativa USA, CEE ed italiana.

Analisi critica di alcuni casi rilevanti di processi localizzativi.

Le localizzazioni di impianti elettronucleari.

- Analisi di impianti e sistemi energetici. [24 ore]

Definizione dei parametri di valutazione.

In termini di validità: tecnologica, energetica, socio-economica, territoriale, ambientale. Le analisi costi/benefici.

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.

Energia e aree urbane.

La pianificazione energetica territoriale. Le aree urbane. La zonizzazione territoriale.

## **LABORATORI E/O 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.

## H3110      **MACCHINE**

|                      |                                    |
|----------------------|------------------------------------|
| Anno: 4              | Periodo: 2                         |
| Impegno (ore totali) | lezioni: 65      esercitazioni: 35 |
| Docente:             | <b>Paolo CAMPANARO</b>             |

Nel corso sono esposti i principi termodinamici e fluidodinamici necessari ad una corretta comprensione del funzionamento delle turbomacchine a fluido. Di queste viene poi sviluppata l'analisi del funzionamento nei tipi di più comune impiego, con l'approfondimento richiesto dall'obiettivo di far diventare l'allievo nella sua futura attività professionale un accorto utilizzatore, sia nella scelta delle macchine stesse sia nel loro esercizio. A questo scopo vengono esaminati problemi di scelta, di installazione, di regolazione, sia in sede di lezione sia in sede di esercitazione, dove vengono esemplificate le necessarie calcolazioni.

### **REQUISITI**

Sono nozioni propedeutiche essenziali quelle presenti nel corso di *Fisica Tecnica* e, in parte, nel corso di *Meccanica Applicata alle Macchine*.

### **PROGRAMMA**

#### **"TERMOFLUIDODINAMICA" (2 crediti)**

- Considerazioni generali sulle macchine a fluido motrici ed operatrici. Classificazioni. Principio della Termodinamica in sistemi chiusi e aperti. Fluidodinamica nelle macchine. Effusori e diffusori, geometria dei condotti. [10+8 ore]

#### **"TURBINE A VAPOR D'ACQUA" (3 crediti)**

- Cicli e schemi di impianti a vapore d'acqua; mezzi per migliorare il rendimento dell'impianto. Cicli rigenerativi. Impianti a vapore con produzione combinata di energia meccanica e termica. [8+5 ore]
- Turbine. Triangoli di velocità. Stadi ad azione e a reazione, portate, potenze, funzionamento in condizione di progetto. Turbine assiali e radiali. Dimensionamento. Funzionamento fuori progetto della turbina. Regolazione degli impianti a vapore. La condensazione. [12+8 ore]

#### **"TURBOMACCHINE A GAS" (3 crediti)**

- Turbocompressori di gas; classificazione, funzionamento. Generalità sui turbocompressori. Similitudine di funzionamento. Caratteristica adimensionata di un turbocompressore. La regolazione dei turbocompressori. [10+4 ore]
- Turbine a gas; considerazioni termodinamiche sul ciclo, ciclo ideale e ciclo reale. Funzionamento in condizione di massimo lavoro e di 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. I cicli combinati. [13+4 ore]

#### **"TURBOMACCHINE IDRAULICHE" (2 crediti)**

- Turbine idrauliche: le turbine Pelton, le turbine Francis, le turbine Kaplan, loro funzionamento. Le condizioni di massimo rendimento. La regolazione delle turbine idrauliche. [7+3 ore]
- Le turbopompe: prestazioni, funzionamento, regolazione. Caratteristica della turbopompa. La cavitazione nelle turbopompe. Le pompe-turbine. [5+3 ore]

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Il corso delle esercitazioni prevede specifiche applicazioni di calcolo sulle turbomacchine trattate a lezione. Tali applicazioni consentono di preparare l'allievo al superamento della prova scritta d'esame.

## BIBLIOGRAFIA

- Appunti delle lezioni e delle esercitazioni sono messi a disposizione degli allievi.  
Giuseppe Cantore "Macchine" Progetto Leonardo 1996 ed. Esculapio (Bologna).  
Giovanni Lozza "Turbine a gas e cicli combinati" Progetto Leonardo 1996 ed Esculapio (Bologna).

## ESAME

L'esame consiste nel superamento di una prova scritta e di una prova orale. La prova scritta serve a valutare la capacità dell'allievo a risolvere problemi applicativi sulle turbomacchine. La prova scritta e la prova orale sono svolte all'interno dello stesso appello d'esame.

## H3130      **MACCHINE ELETTRICHE**

|                      |                       |                   |                |
|----------------------|-----------------------|-------------------|----------------|
| Anno: 4              | Periodo: 1            |                   |                |
| Impegno (ore totali) | lezioni: 80           | esercitazioni: 20 | laboratori: 15 |
| Docente:             | <b>Paolo FERRARIS</b> |                   |                |

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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 I e II*.

### **PROGRAMMA**

- *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.

- *Macchine rotanti in corrente alternata.*

Strutture delle macchine rotanti: definizione di *fmm* distribuita prodotta da conduttori posti al traferro, *fmm* dovuta a una o più spire, analisi armonica delle distribuzioni spaziali di *fmm*.

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 *fmm*.

Rappresentazione di *fmm* al traferro mediante vettori spaziali. Flusso al traferro, riluttanza equivalente, vettore flusso. Flusso concatenato e *fem*, in spire al traferro in regime sinusoidale. Fattori di avvolgimento, numero di spire equivalenti dal punto di vista della generazione di *fem*; dipendenza dal tipo di avvolgimento.

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

### - *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 componenti  $d$  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 distorcimenti 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.

### - *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.

### - *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.

## LABORATORI E/O 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.

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. Crepez, *Macchine elettriche*, CLUP, Milano.

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

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

## **H3204      MECCANICA ANALITICA**

(Corso ridotto)

|                      |                        |                   |
|----------------------|------------------------|-------------------|
| Anno: 2              | Periodo: 2             |                   |
| Impegno (ore totali) | lezioni: 30            | esercitazioni: 20 |
| Docente:             | <b>Franco PIAZZESE</b> |                   |

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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 conoscenze non effimere di base, di interesse in numerose applicazioni scientifico-tecniche.

### **REQUISITI**

Gli argomenti fondamentali dei corsi di: Analisi matematica I e II, Geometria e Fisica generale I.

### **PROGRAMMA**

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 infinitesime. Dinamica relativa. Dinamica del corpo rigido. Momento angolare ed energia cinetica. Tensore d'inerzia. Ellissoide d'inerzia. Equazioni del moto di Eulero. Costruzione di Poincot. Moto di una trottola pesante: quadrature e cenni sulle soluzioni.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Sono previste esercitazioni su argomenti svolti nelle lezioni.

### **BIBLIOGRAFIA**

H. Goldstein, *Classical Mechanics* (2 Edizione), Addison-Wesley (1980).

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

Per eventuali 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 sostenere al termine una prova scritta vertente tanto su esercizi quanto su domande di teoria, sull'intero programma svolto. Per ottenere la massima votazione è richiesto, inoltre, di 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 in una prova orale o scritta con discussione- presentandosi agli appelli d'esame.

## H3210 MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE

|                      |                                  |
|----------------------|----------------------------------|
| Anno: 3              | Periodo: 2                       |
| Impegno (ore sett.): | lezioni: 6      esercitazioni: 4 |
| Docente:             | <b>Guido BELFORTE</b>            |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 equilibrio 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]

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Sono previste due esercitazioni sperimentali in laboratorio che saranno svolte in gruppi di circa otto studenti. Le esercitazioni riguarderanno misure di rendimento su motori e riduttori di velocità. Ogni studente dovrà preparare una breve relazione che porterà all'atto dell'esame.

Le esercitazioni in aula 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.

## BIBLIOGRAFIA

Belforte, *Meccanica applicata alle macchine*, Ed. Levrotto e Bella, Torino, 1997.

## ESAME

L'esame si svolge in forma orale sull'intero programma del corso (lezione ed esercitazione). Saranno svolti due accertamenti scritti durante il corso, a parziale esonero dell'esame.

## H3280 MECCANICA DEI ROBOT

Anno: 5                      Periodo: 1  
Impegno (ore sett.)    lezioni: 6                      esercitazioni: 4  
Docente:                      **Andrea MANUELLO BERTETTO**

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso affronta tematiche tipiche della progettazione e della caratterizzazione di robot. Sono studiati sia robot industriali tipici che speciali per applicazioni avanzate, offrendo un inquadramento delle tematiche caratteristiche di manipolatori su applicazioni effettive.

### REQUISITI

Il corso è interdisciplinare e affronta in modo approfondito tematica proprie della Meccanica. Sono richieste le nozioni dell'Analisi, della Geometria della Meccanica Razionale e della Meccanica Applicata.

### PROGRAMMA

- *Introduzione al corso e tipologie di robot* [8 ore]  
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.
- *Cinematica dei robot* [16 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. 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.
- *Statica e dinamica dei manipolatori* [16 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.
- *Polsi e riduttori per robotica* [16 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. 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. Sistemi di presa e manipolazione per robot: tipologie, schemi funzionali e realizzativi, metodi di analisi e di progetto.
- *Traiettorie e controllo di manipolatori* [40 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.  
Controllo dei robot. Leggi del moto e dell'asservimento. Schema del controllo. Controllo nello spazio dei giunti. Scelta dei parametri delle matrici di guadagno proporzionale, derivativa e integrativa. Controllo nello spazio cartesiano.

- Azionamenti per robot [20 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 servoazionamenti elettrici per controllo di velocità e di posizione.

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Vengono messi a disposizione degli studenti, divisi in diverse squadre di non più di cinque persone, appositi banchi prova per lo svolgimento di esperienze di laboratorio sui seguenti argomenti: sensori particolari per robotica [sensori di pressione, sensori tattili di forza di contatto nella presa di oggetti in mani robotizzate]; manipolatori innovativi a tre gradi di libertà [caratterizzazione sperimentale dello spazio di lavoro]; trasduttori di posizione e velocità per attuatori flessibili [caratterizzazione del campo di misura]; attuatori innovativi ad elevata forza di attuazione; caratterizzazione di riduttori di velocità per robotica [ordinario, a vite, epicicloidali]. Le esperienze di laboratorio vengono svolte personalmente dagli studenti seguiti dai docenti e dai coadiutori.

## BIBLIOGRAFIA

A. Romiti, *Cinematica E Dinamica Dei Robot*, [dispense del corso].

King-Sun Fu, R.C. Gonzalez, C.S. George Lee, *Robotica*, Mc Graw - Hill

E.I. Rivin, *Mechanical Design Of Robots*, Mc Graw - Hill

R. Paul, *Robot Manipulators*, M.I.T. Press.

J. Craig, *Introduction To Robotics Mechanics And Control*, Addison Wesley.

Mackerrow, *Introduction To Robotics*, Addison Wesley.

## ESAME

L'esame viene svolto oralmente.

Anno: 2

Periodo: 2

Impegno (ore totali)

lezione: 80

esercitazione: 40

laboratori: 2

Docente:

**Grazia VICARIO****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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 I, Geometria (Gestionali), Analisi Matematica II (altri corsi di laurea).

**PROGRAMMA**

*Probabilità.* Definizioni di probabilità e loro applicabilità, nozioni di calcolo combinatorio, regole di calcolo delle probabilità, probabilità a posteriori, la formula di Bayes.

*Distribuzioni.* Variabile casuale (discreta e continua), distribuzioni di variabili discrete e continue, principali distribuzioni teoriche, parametri principali relativi a posizione, dispersione, forma, disuguaglianza di Tchebycheff.

*Statistica descrittiva.* 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, presentazione di un Package statistico.

*Distribuzioni congiunte.* 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.

*Inferenza statistica.* 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 logiche di un test di ipotesi, tipi di errori e loro controllo, livello e test di significatività, curve caratteristiche operative e loro uso, test riguardanti le medie, le proporzioni, la varianza e confronto fra due o più varianze.

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

*Regressione.* Regressione lineare semplice (valutazione di adattamento e variabilità residua), analisi della varianza, osservazioni ripetute, regressione multipla, calcolo con procedimento matriciale, analisi della varianza, correlazione.

*Processi stocastici.* Processi di Poisson, cenni alla teoria delle code, catene di Markov; processi markoviani omogenei.

*Cenni sulla Progettazione degli esperimenti.* Interdipendenza tra criteri di analisi dei risultati e criteri di pianificazione delle prove, esperimenti fattoriali, effetti principali e interazioni, blocchi e frazionamenti e loro implicazioni.

**BIBLIOGRAFIA**

Grazia Vicario, Raffaello Levi (1997), *Calcolo delle Probabilità e Statistica per Ingegneri*, Casa Editrice Esculapio, Bologna.

Giulia Aschero, Marco Varetto (1998), *Esercizi di Metodi Probabilistici, statistici e Processi Stocastici*, CLUT, Torino.

## ESAME

L'esame consiste in una prova scritta ed una orale, che devono essere sostenute nello stesso appello (eccezionalmente nella seconda sessione ordinaria, periodo di valutazione "naturale" per il corso di Metodi Probabilistici, Statistici e Processi Stocastici 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 27/30.

Lo studente che desidera presentarsi alla prova scritta deve prenotarsi, 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 soltanto le macchine calcolatrici; è vietato consultare gli appunti del corso e/o il libro di testo; le tavole, ove necessarie, verranno fornite in aula dalla docente.

Non è consentito uscire dall'aula per nessuna ragione nel corso della prima ora. 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.

## H3660 MISURE ELETTRICHE

|                     |  |
|---------------------|--|
| Anno:4              | periodo didattico:1  |
| Impegno (ore sett.) | lezioni: 5      esercitazioni: 1      laboratori:4   |
| Crediti: 10         |  |
| Docente:            | <b>Franco FERRARIS</b> (Dipartimento di Elettronica tel. 5644109, FAX 5644099, E-Mail: ferraris@polito.it, - orario di ricevimento qualunque giorno previo accordo telefonico, mer. 14.30 -18.30 senza accordo preventivo) |

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di illustrare i metodi e gli strumenti per la misura di grandezze fisiche, con particolare attenzione ai principi di funzionamento e di uso dei sistemi di misura più diffusi nelle varie aree dell'ingegneria elettrica, e di presentare le specifiche disposizioni circuitali usate per la misura di alcune grandezze elettriche.

Il corso è strutturato in due moduli consecutivi: il primo (cinque crediti), un'introduzione alla misurazione e alla strumentazione di base, ha lo scopo di far acquisire agli allievi le conoscenze fondamentali per poter operare nei laboratori sperimentali e per la certificazione della qualità dei prodotti; il secondo (cinque crediti), orientato agli strumenti e ai metodi per le misure elettriche, ha lo scopo di far acquisire le conoscenze teoriche e pratiche fondamentali per l'esecuzione delle principali misurazioni nel campo delle misure elettriche.

### REQUISITI

Fisica, Elettrotecnica, Elettronica Applicata.

### PROGRAMMA

#### I MODULO

##### *Misurazione e misura*

Il procedimento conoscitivo sperimentale. La teoria della misurazione. La teoria rappresentazionale. Diagramma di produzione di una misurazione. Elaborazione dei dati sperimentali per ottenere la misura.

Misure dirette ed indirette

Stima delle incertezze secondo la GUM

Sistema SI e organizzazione metrologica internazionale

Caratterizzazione metrologica di un dispositivo

*Strumentazione e metodi di misura in corrente continua*

Strumenti e metodi per la misura di correnti, tensioni, e resistenze: lo strumento a bobina mobile e magnete permanente, l'amperometro ed il voltmetro analogici, il tester.

I voltmetri numerici: convertitori digitali/analogici, voltmetro ad approssimazioni successive, parallelo, ad integrazione.

Gli amperometri numerici.

Metodi di zero in corrente continua: il ponte di Wheatstone e varianti, il potenziometro

*La misurazione per la certificazione della qualità dei prodotti*

La misurazione come sorgente dell'informazione nel controllo dei processi e nell'automazione della produzione. Cenni ai sistemi di qualità aziendali.

Certificazione di conformità. Accredimento di laboratori di taratura e di prova.

#### I MODULO

L'oscilloscopio a raggi catodici analogico: principio di funzionamento e suo utilizzo come misuratore di forme d'onda nel dominio del tempo.

L'oscilloscopio digitale: principio di funzionamento, prestazioni, caratteristiche peculiari.  
Strumenti e metodi per la misura di tensioni e correnti alternate: strumenti a valore medio, a valore di cresta e a valore efficace.  
Trasformatori di misura di corrente e di tensione. Partitori di tensione e di corrente.  
Misure di potenza elettrica monofase e trifase.  
Misure di energia elettrica.  
Misure magnetiche: curva normale di magnetizzazione e cifra di perdita dei materiali ferromagnetici.  
Strumenti per misura di impedenza: ponti in alternata, Q-metro.  
Gli strumenti a microprocessore. prestazioni e configurazione di un sistema automatico per l'acquisizione dei dati.  
Strumentazione su scheda PC, cenni al software di gestione.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

### **ESERCITAZIONI IN AULA**

#### **I MODULO**

Comportamento in un laboratorio sperimentale e introduzione ai problemi relativi alla sicurezza  
Esercizi sul calcolo delle ed incertezze: valutazioni incertezze di classe A e classe B  
Illustrazione di esercitazioni sull'uso di strumenti in corrente continua

#### **II MODULO**

Esercizi sul calcolo delle incertezze negli strumenti elettronici  
Illustrazione delle esercitazioni sperimentali

#### **ESERCITAZIONI (assistite) IN LABORATORIO**

Le esercitazioni sperimentali di laboratorio, svolte da studenti divisi in gruppi, sono strettamente integrate con le lezioni ed hanno lo scopo di far acquisire familiarità con gli strumenti ed i metodi di misura delle grandezze elettriche.

Esercitazioni sperimentali della durata di 4 ore ciascuna, precedute da 2 ore in aula di illustrazione dell'esercitazione. Gli allievi sono suddivisi in gruppi di tre-cinque persone per tavolo. Le squadre sono composte da cinque-sei gruppi.

#### **I MODULO**

Esecuzione di esercitazioni sperimentali sull'uso di strumenti in corrente continua:

1. Misure in corrente continua (parametri di un bipolo passivo e di un bipolo attivo lineare).
2. Ponte di Wheatstone

#### **II MODULO**

Esecuzione di esercitazioni sull'uso dell'oscilloscopio analogico e digitale

Esecuzione di esercitazioni sull'uso di strumenti in corrente alternata:

1. Misure in corrente alternata monofase (confronto delle prestazioni di voltmetri in a.c.).
2. Misure sui trasformatori.
3. Misure magnetiche (cifra di perdita e curva normale di magnetizzazione di lamierini ferromagnetici)

Esecuzione di esercitazioni sulla misura di potenza elettrica

Uso di un sistema per l'acquisizione automatica dei dati

## **BIBLIOGRAFIA**

TESTO DI RIFERIMENTO Copie delle trasparenze presentate a lezione.

G. Zingales - Misure Elettriche: metodi e strumenti - UTET - Torino - 1992

E. Rubiola - Laboratorio di Misure Elettroniche - CLUT - Torino - 1993

## TESTI AUSILIARI (per approfondimenti)

A. De Marchi, L. Lo Presti - Incertezze di misura - CLUT - Torino - 1993

E. Arri, S. Sartori - Le misure di grandezze fisiche - Paravia - Torino - 1984C. Offelli - Strumentazione elettronica - Edizioni Libreria Progetto - Padova - 1991

G. Costanzini, U. Garnelli - Strumentazione e misure elettroniche - Zanichelli - BolognaE.O.

Doebelin - Measurement systems: applications and design - McGraw-Hill - 1990

## ESAME

Orale. L'esame sarà unico per l'intero corso e si svolgerà alla fine del secondo modulo, verterà su quanto illustrato a lezione, su esercizi di stima di incertezze, su una discussione sulle modalità di svolgimento e sui risultati ottenuti nelle esercitazioni sperimentali.

## H3780      **MODELLISTICA DEI SISTEMI ELETTROMECCANICI**

|                      |                      |                   |                |
|----------------------|----------------------|-------------------|----------------|
| Anno: 5              | Periodo: 1           |                   |                |
| Impegno (ore totali) | lezioni: 72          | esercitazioni: 20 | laboratori: 16 |
| Docente:             | <b>Mario LAZZARI</b> |                   |                |

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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:

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

### **PROGRAMMA**

*Richiami sugli avvolgimenti distribuiti. [8 ore]*

Distribuzione di densità di conduttori in un avvolgimento. Distribuzione di f.m.m.

Flusso concatenato. Auto- e mutue induttanze tra avvolgimenti.

F.e.m. indotta: componenti mozionali e trasformatoriche. Coppia.

*Sistemi in corrente continua. [12 ore]*

Macchina a corrente continua.

Richiami sulle caratteristiche di funzionamento e di applicazione. Modello matematico della macchina e metodi di integrazione.

*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.

Sistemi convertitori/macchina.

Cenni ai principali tipi di azionamento dei motori a corrente continua. Metodi di costruzione del modello matematico dell'azionamento.

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

Trasformazioni delle grandezze elettriche.

Trasformazione bifase - trifase. Trasformazione di rotazione. Trasformazioni complesse.

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.

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.

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

*Inverter.*

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

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*.

*Trasformatore*. [6 ore]

Calcolo delle correnti magnetizzanti.

Correnti magnetizzanti a regime e in transitorio nei trasformatori trifase.

Trasformatori con convertitori CA/CC.

Modello a regime del trasformatore per convertitori.

## **LABORATORI E/O 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.

## H3850 OLEODINAMICA E PNEUMATICA

|                    |                        |                  |               |
|--------------------|------------------------|------------------|---------------|
| Anno: 5            | Periodo: 2             |                  |               |
| Impegno (ore sett) | lezioni: 6             | esercitazioni: 4 | laboratori: 8 |
| Docente:           | <b>Nicola NERVEGNA</b> |                  |               |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

- *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-p 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: idrocopiato-re. 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*.

- *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.

- *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. Strozziatore semplice, regolatori di portata a due e a tre vie. Caratteristiche stazionarie.

- *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*.

- *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.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

- Esercitazioni:

*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 automatico 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.  
 Laboratori:  
 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.

## **P3910 PIANIFICAZIONE DEI TRASPORTI**

Anno: 5

Periodo: 2

Impegno (ore sett.)

lezioni: 4

esercitazioni: 4

Docente:

**Vito MAURO** (Coll. **Domenico INAUDI, Francesco P. DEFLORIO**)

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si articola in due moduli corredati da un programma di esercitazioni. Il primo modulo introduce i concetti generali alla base della "pianificazione dei trasporti" e analizza i metodi di descrizione di un sistema domanda - offerta con l'uso di modelli matematici. Il secondo riguarda i modelli di "interazione tra domanda e offerta" e i metodi per l'analisi dei sistemi e la valutazione dei progetti di trasporto. Le esercitazioni forniscono una serie di esempi relativi ai modelli e agli algoritmi esaminati.

### **REQUISITI**

Fondamenti di informatica; Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici; Ricerca operativa; Tecnica ed Economia dei Trasporti.

### **PROGRAMMA**

**I MODULO: LA PIANIFICAZIONE DEI TRASPORTI E IL SISTEMA DOMANDA - OFFERTA**

Impegno (ore totali)    lezioni: 20    esercitazioni: 18

#### **I CONCETTI INTRODUTTIVI**

- Definizione del sistema di trasporto
- Gli obiettivi della pianificazione: i problemi del sistema dei trasporti, le diverse scale territoriali, l'impatto sulla sicurezza, sull'ambiente e sull'economia
- L'approccio macroeconomico: il trasporto come interazione tra domanda e offerta
- Interazione tra il sistema dei trasporti ed il sistema urbano
- Introduzione sulla modellistica matematica

#### **LA NORMATIVA ITALIANA**

- I Piani di Trasporto
- I Piani Urbani del Traffico (PUT)
- Il "mobility manager" ed i servizi per la mobilità
- Il controllo ambientale

#### **L'OFFERTA DI TRASPORTO**

- La zonizzazione
- Il grafo della rete di trasporto: archi e percorsi
- Le relazioni costi - flusso
- Il rilievo dell'offerta di trasporto

#### **LA DOMANDA DI MOBILITÀ**

- La misura della mobilità
- Il concetto di origine e destinazione
- Metodi per la quantificazione della domanda di mobilità

#### **I MODELLI DI DOMANDA**

- Struttura generale dei modelli di domanda
- Modelli di utilità casuale
- I modelli di generazione
- I modelli di distribuzione
- I modelli di ripartizione modale
- I modelli di scelta del percorso

II MODULO: I MODELLI DI INTERAZIONE DOMANDA - OFFERTA E L'ANALISI DEI SISTEMI DI TRASPORTO  
Impegno (ore totali)      lezioni: 30      esercitazioni: 32

### I MODELLI DI INTERAZIONE DOMANDA - OFFERTA

- Il problema dell'assegnazione della domanda alla rete
- Il concetto di equilibrio deterministico e stocastico
- L'assegnazione a reti non congestionate
- L'assegnazione a reti congestionate

### LA STIMA DELLA DOMANDA DI MOBILITÀ

- La stima diretta della domanda attuale
- La stima disaggregata dei modelli di domanda
- La stima della domanda attuale con i conteggi di traffico

### LE PRESTAZIONI E LA VALUTAZIONE DEI SISTEMI DI TRASPORTO

- L'efficienza del sistema: i tempi ed i costi
- L'impatto ambientale ed i consumi energetici

### L'APPLICAZIONE DEI MODELLI MATEMATICI DI TRASPORTO

- I package per la modellizzazione dei sistemi di trasporto
- Il caricamento e la rappresentazione interattiva dei dati
- Le procedure di calibrazione
- L'individuazione degli effetti di un piano di trasporto
- L'analisi delle prestazioni dal punto di vista dell'utente, del gestore e della società

### GLI ASPETTI OPERATIVI DELLA PIANIFICAZIONE DEI TRASPORTI

- I contenuti del PUT: gli interventi infrastrutturali, le misure di regolazione, la gestione operativa
- L'attuazione ed il controllo del PUT
- "L'ufficio per il Piano": composizione della struttura adibita alla redazione del PUT
- Il costo della redazione di un Piano, il costo dell'attuazione di un Piano
- Dalla pianificazione alla gestione: esempi di applicazioni "on-line" dei modelli di traffico

### Programma delle esercitazioni

#### PROBLEMI SU GRAFI E RETI

- Metodi di rappresentazione
- Caratteristiche dei grafi
- Algoritmi per il calcolo degli alberi di costo minimo
- Funzioni di costo e di prestazione
- Costruzione del modello di rete per un sistema di offerta di trasporto

#### MODELLI DI DOMANDA - ESEMPI DI APPLICAZIONI

- I modelli di utilità aleatoria
- I modelli di generazione
- I modelli di distribuzione
- I modelli di ripartizione modale
- I modelli di scelta del percorso

#### MODELLI E ALGORITMI DI ASSEGNAZIONE - ESEMPI SU RETI ELEMENTARI

- Modelli DNL, SNL, DUE, SUE
- Determinazione dei percorsi di costo minimo
- Carico della rete senza enumerazione esplicita dei percorsi
- Algoritmi per l'assegnazione di equilibrio

#### STIMA DELLA DOMANDA DI TRASPORTO - ASPETTI APPLICATIVI

- La stima diretta della domanda attuale
- La stima disaggregata dei modelli di domanda
- La stima della domanda attuale con i conteggi di traffico

#### ESEMPI DI UTILIZZO DI UN PACKAGE APPLICATIVO PER LA PIANIFICAZIONE OPERATIVA

## BIBLIOGRAFIA

### TESTI CONSIGLIATI

- CASCETTA: "Teoria e metodi dell'ingegneria dei sistemi di trasporto", UTET
- PRATELLI: "Ingegneria dei sistemi di trasporto" Esercizi ed esempi, Pitagora Editrice  
Bologna

### ESAME

L'esame di profitto consiste in una prova orale sugli argomenti affrontati a lezione.

### REQUISITI

Fondamenti di Informatica, Modelli di Trasporto, Teoria ed Economia del Trasporto

### PROGRAMMA

1. Concetti introduttivi  
2. La normativa italiana  
3. L'offerta di trasporto  
4. L'offerta di traffico (PTT)  
5. Il concetto di domanda  
6. L'offerta di trasporto  
7. La domanda  
8. L'offerta di traffico (PTT)  
9. Il concetto di domanda  
10. L'offerta di trasporto  
11. La domanda  
12. L'offerta di traffico (PTT)  
13. Il concetto di domanda  
14. L'offerta di trasporto  
15. La domanda  
16. L'offerta di traffico (PTT)  
17. Il concetto di domanda  
18. L'offerta di trasporto  
19. La domanda  
20. L'offerta di traffico (PTT)

### CONCETTI INTRODUTTIVI

Definizione di sistema di trasporto, struttura e componenti, composizione di un sistema di trasporto, obiettivi del sistema di trasporto, ruolo del sistema di trasporto, approvvigionamento del sistema di trasporto, introduzione alla modellazione matematica del sistema di trasporto.

### LA NORMATIVA ITALIANA

- I Piani di Trasporto
- I Piani Urbani del Traffico (PUT)
- Il "modello manager" organizzativo
- Il concetto di domanda

### L'OFFERTA DI TRASPORTO

- La domanda
- Il grado di utilità del trasporto e percorsi
- La domanda
- Il concetto di domanda

### LA DOMANDA

- La domanda
- Il concetto di domanda
- Il concetto di domanda

### L'OFFERTA DI TRAFFICO (PTT)

- Il concetto di domanda
- Il concetto di domanda
- Il concetto di domanda

Anno: 5  
Docente:Periodo: 2  
**Dario ANTONELLI****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si prefigge l'intento di fornire competenze nell'ambito delle tecnologie di deformazione plastica dei metalli. A questo scopo si forniscono indicazioni sulla teoria elementare della plasticità introducendo tensioni e deformazioni puntuali. I criteri di plasticizzazione. I modi per risolvere i problemi di formatura. Successivamente si analizzano le diverse lavorazioni alla luce di quanto sopra detto e si evidenziano le caratteristiche tipiche di ogni lavorazione esaminata.

**REQUISITI**

Conoscenze di meccanica, tecnologia meccanica, materiali.

**PROGRAMMA**

- Cenni introduttivi [4 ore]

Cenni storici sulle lavorazioni per deformazione plastica, concatenazione tecnologica dei prodotti. meccanismi della deformazione plastica, dislocazioni.

- Analisi elementare della plasticità [10 ore]

Tensori delle tensioni, autovalori e autovettori. Tensori delle deformazioni e delle velocità di deformazione. Criteri di plasticizzazione. Relazioni analitiche fra tensioni, deformazioni e velocità di deformazione, curve di plasticizzazione dei materiali.

- Metodi per la soluzione di problemi di formatura [6 ore]

Uso di equazioni di plasticità e di equilibrio; metodi del lavoro uniforme, della sezione, dei piani di discontinuità. Metodi ai limiti, metodo delle linee di scorrimento, cenno sul metodo agli elementi finiti.

- Tecnologie di lavorazione per deformazione plastica

Fucinatura, stampaggio massivo, estrusione [10 ore]

Fucinatura, stampaggio a caldo e semicaldo, modalità operative. Calcolo dei lavori e delle forze necessari, condizioni di attrito. Macchine ed utensili per fucinare e stampare. Estrusione a caldo ed a freddo, modalità operative, calcolo delle forze e dei lavori con diversi metodi.

*Laminazione [10 ore]*

Laminazione piana a caldo ed a freddo, calcolo delle forze valutazione dell'attrito e dell'allargamento. Laminazione in calibri. Cilindri di laminazione, materiali, disposizioni. Treni di laminazione

*Produzione dei tubi [2 ore]*

*Trafilatura di barre e fili [2 ore]*

*Operazioni sulle lamiere [8 ore]*

Tranciatura a profilo aperto e chiuso. Modalità operative dell'imbutitura e dello stampaggio delle lamiere, determinazione degli sviluppi piani necessari, del numero di passaggi, delle forze. Macchine, stampi di imbutitura; processi di simulazione nella progettazione degli stampi a piegatura.

**LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Esercitazioni in aula:

Calcoli di forze e lavori in operazioni di ricalcatura, stampaggio massivo, laminazione, imbutitura, tracciamento delle caratteristiche di una pressa meccanica.

Progettazione elementare di attrezzo per estrusione a freddo.

Uso di programmi per il calcolo di sequenze di calibri in laminazione, e di sequenze di forme di imbutitura della lamiera.

Esercitazioni in laboratorio:

Esecuzione di operazioni di ricalcata, di laminazione a freddo, di imbutitura, di piegatura, esame di pezzi deformati a caldo, a tiepido e a freddo.

Rilevamento con strumenti ottici delle deformazioni permanenti su particolari estrusi.

Esercitazioni all'esterno:

Visite di studio presso stabilimenti dell'area torinese presso i quali si attuano tecnologie di deformazione dei metalli.

## **BIBLIOGRAFIA**

Dispensa del docente

Tschatsch, Manuale delle lavorazioni per deformazione, Tecniche Nuove, Milano

Spur, Enciclopedia delle lavorazioni meccaniche, Vol. 2 e 5, Tecniche Nuove, Milano

## **ESAME**

Gli esami si svolgono in forma orale tradizionale. Si richiede allo studente di portare il dossier delle esercitazioni svolte.

|                      |                     |                              |
|----------------------|---------------------|------------------------------|
| Anno: 5              | Periodo: 1          |                              |
| Impegno (ore totali) | lezioni: 52         | esercitazioni/laboratori: 52 |
| Docente:             | <b>Luca IULIANO</b> |                              |

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Scopo del corso è la descrizione del percorso seguito da un bene di consumo nelle fasi di industrializzazione e fabbricazione partendo dal modello matematico realizzato al CAD. Tutte le fasi che contribuiscono alla realizzazione del prodotto vengono esaminate nell'ottica della Concurrent Engineering dove convivono tutte le moderne tecniche della produzione assistita dal calcolatore (CAM). Vengono innanzitutto analizzate le tematiche inerenti all'integrazione CAD/CAM e alla simulazione applicata ai processi produttivi, successivamente sono discusse le attività attuabili dal CAM nei settori delle macchine utensili a controllo numerico, dei robot industriali e nel collaudo e controllo di qualità. Sono quindi trattati gli aspetti di base della pianificazione dei processi produttivi partendo dalla group technology (GT). Vengono infine descritte le principali tecnologie di Prototipazione Rapida (RP) dove l'ausilio del calcolatore rende possibile un'integrazione globale tra il modello matematico e il processo di costruzione del prototipo.

### **REQUISITI**

Sono richieste conoscenze di base di Disegno Tecnico Assistito, di Tecnologia Meccanica/Sistemi Integrati di produzione e di Informatica.

### **PROGRAMMA**

Concurrent Engineering e Integrazione CAD/CAM 4 ore.

- Definizione integrata del prodotto e del processo;
- Definizione di integrazione CAD/CAM;
- Strutture hardware e software per l'integrazione con i sistemi CAM;
- Esempi di Integrazione.

Simulazione dei processi produttivi 4 ore

- La filosofia della simulazione;
- Campi di impiego della simulazione nei processi produttivi;
- Simulazione del percorso utensile e della movimentazione dei robot;
- Simulazione del flusso di resina termoplastica nel processo di stampaggio a iniezione.

Il controllo numerico 6 ore

- Richiami sui principi, sulle macchine e sulla programmazione assistita del percorso utensile;
- L'impiego del calcolatore nei controlli numerici
- Il controllo adattativo

I robot industriali 8 ore

- Strutture e caratteristiche;
- Impieghi dei robots;
- Le unità di governo e la programmazione assistita;
- Integrazione con l'ambiente esterno
- Le celle robotizzate.

Le macchine di misura a controllo numerico 4 ore

- Il controllo di qualità assistito;
- Strutture e caratteristiche delle macchine di misura;
- Software per macchine di misura;
- La verifica diretta con il modello matematico (CTR);

La Group Technology 6 ore

- Le famiglie di pezzi;
- La codifica e la classificazione delle famiglie di pezzi;
- Le celle di lavorazione;

La pianificazione dei processi produttivi (CAPP) 8 ore

- Le problematiche dei sistemi CAPP;
- L'approccio variante;
- L'approccio generativo;

La prototipazione rapida (RP) 12 ore

- La filosofia della fabbricazione per piani e la sua giustificazione economica;
- L'integrazione con i sistemi CAD;
- I processi industriali consolidati;
- I sistemi in fase di sviluppo;
- Valutazione delle prestazioni delle varie tecniche.
- Le possibilità di utilizzo dei prototipi rapidi.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni svolte presso il laboratorio di economia e produzione (LEP) ed il laboratorio tecnologico vertono sui seguenti temi:

Modellazione CAD tridimensionale per superfici e solidi indirizzata alla generazione del file STL per la costruzione dell'elemento fisico con le tecniche di prototipazione rapida;

Simulazione di celle di produzione robotizzate;

Determinazione della finestra di stampaggio per la produzione di manufatti in resina termoplastica;

Produzione di un manufatto impiegando la tecnica della Reverse Engineering.

Sono inoltre previsti:

Seminario sulle applicazioni della prototipazione rapida;

Visite presso aziende con forte integrazione CAD/CAM;

Le esercitazioni sono finalizzate all'approfondimento di un argomento specifico del corso da effettuarsi in piccoli gruppi sotto la guida del docente con la stesura di una relazione da presentare in sede di esame. Sono previste 20 ore da dedicare sia allo sviluppo dell'argomento selezionato che ad una serie di incontri con il docente.

### **BIBLIOGRAFIA**

Groover P. M., Zimmers E. W., CAD/CAM Computer Aided Design and Manufacturing, Prentice Hall, 1986.

McMahom C., Browne J., CAD/CAM from Principles to Practice, Addison Weshley Publishing Company, 1994.

Bjorke O., Layer Manufacturing, a Challenge of the Future, Tapir Publishers, Thondheim Norway, 1992.

### **ESAME**

La prova finale, orale, è organizzata in due fasi: la prima comprende gli argomenti trattati nelle lezioni mentre la seconda verte sulla discussione della relazione presentata e corretta dal docente. Ad ogni fase d'esame corrisponde una valutazione delle risposte fornite dall'allievo ed il voto finale risulterà dalla media delle due valutazioni suddette, purchè ciascuna sia sufficiente.

Per consentire la correzione delle relazioni, queste dovranno essere consegnate con un anticipo di 7 giorni rispetto alla data di inizio della sessione di esami di febbraio-marzo.

Anno: 5  
Impegno (ore sett.)  
Docente:

Periodo: 1  
lezioni: 6  
**Gaetano PESSINA**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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**

- Trazione su rotaia con linea di contatto superiore a 3kV; applicazioni ferroviarie europee con distribuzione della linea di contatto in AC e DC.
- 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.
- Applicazioni all'alta velocità: esame delle realizzazioni europee, architetture di azionamento, sistemi di frenatura.
- Trazione su rotaia con linea di contatto inferiore ad 1kV; 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.
- 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.
- Cenni sulla propulsione navale elettrica, con esame delle principali applicazioni in campo militare e civile.

### **LABORATORI E/O 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.

## H4550 RICERCA OPERATIVA

Anno: 5                      Periodo: 1  
Impegno (ore sett.)      lezioni: 6                      esercitazioni: 2  
Docente:                      **Roberto TADEI** (collab.: **Federico DELLA CROCE**)

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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 nell'individuazione di funzione obiettivo da minimizzare o massimizzare e dei 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.) è 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]

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Per ciascuno dei punti del programma delle lezioni verranno svolte esercitazioni in aula ed in laboratorio, 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:

M. Fischetti, *Lezioni di Ricerca operativa*, Libreria Progetto, Padova, 1995.

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.

## 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.

Il 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.

Il 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: 5             | Periodo: 1  |   |
| Impegno (ore sett.) | Lezione: 6  | Laboratorio (nella seconda metà del corso): 2 |
| Docente:            | <b>Basilio BONA</b> (Collab.: <b>Marina INDRI</b> ) |   |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 di base di algebra lineare: vettori, matrici, spazi lineari, basi, trasformazioni, determinanti, autovalori, autovettori, e tutto quanto il solito bagaglio. 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 Gen.* o *Controlli Automatici Spec.* 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

*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, singularità cinematiche.
- Statica [4 ore]: relazione statica tra forze 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.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

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.

Le esercitazioni sperimentali si svolgeranno presso il LADISPE in gruppi di 4-5 studenti; verrà utilizzato un manipolatore planare controllato da una scheda DSP montata su PC. Gli studenti porteranno a termine 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) e, opzionalmente, potranno progettare e realizzare semplici leggi di controllo digitale. Gli studenti possono, a loro discrezione, predisporre una tesina di gruppo che costituirà elemento di valutazione, come di seguito specificato.

### **BIBLIOGRAFIA**

Sono disponibili gli appunti preparati dal docente

Testi Ausiliari

L. Sciavicco, B. Siciliano, "Robotica Industriale. Modellistica e Controllo di manipolatori", McGraw Hill Italia, 1995.

### **ESAME**

Gli esami consistono in una prova scritta e in una prova orale su tutti gli argomenti sviluppati a lezione e a esercitazione. Il voto finale viene calcolato sommando i punteggi ottenuti nelle due prove.

La prova scritta vale un punteggio massimo di 25 punti; lo studente deve svolgere in due ore un certo numero di esercizi (di norma 5 - 6), simili a quelli sviluppati nelle esercitazioni. Se il punteggio finale è maggiore di 11, lo studente può accedere alla prova orale.

La prova orale vale un punteggio massimo di 10 punti; lo studente può presentare o meno la tesina di Laboratorio. Nel primo caso gli sarà rivolta una domanda di carattere teorico seguita da una domanda sulla tesina; nel secondo caso gli saranno rivolte due domande di carattere teorico. Ciascuna domanda vale al massimo 5 punti.

Teoricamente il massimo punteggio ottenibile è 35. Il voto viene comunque sempre espresso in trentesimi.

Lo studente ha facoltà di ritirarsi in qualsiasi momento durante lo svolgimento della prova scritta, oppure di non consegnare l'elaborato. In tale caso egli può ripresentarsi in qualsiasi momento nei successivi appelli. Qualora invece l'elaborato d'esame venga corretto, lo studente può rifiutare il voto, ma in tale caso potrà presentarsi agli appelli successivi secondo le regole della Facoltà. Lo studente può ritirarsi o rifiutare il voto della prova orale, ma in tale caso non conserva il voto della prova scritta, che va quindi ripetuta in un successivo appello secondo le regole della Facoltà.

Non è prevista la correzione in aula dei compiti; questi verranno mostrati e discussi con gli studenti che ne faranno richiesta all'atto della registrazione dell'esame.

Gli elaborati vengono conservati per cinque anni.

I temi d'esame sono pubblici e vengono resi disponibili nella pagina dei materiali consultabili dagli studenti prevista dal servizio ULISSE.

**PROGRAMMA**

Il corso di laurea in Robotica Industriale è articolato in due anni di studio. Il primo anno è dedicato allo studio delle discipline di base della meccanica, dell'elettronica e dell'informatica. Il secondo anno è dedicato allo studio delle discipline specifiche della robotica industriale, con particolare riferimento alla modellazione, alla programmazione e alla simulazione dei robot industriali. Il corso prevede inoltre la partecipazione a stage e a progetti di ricerca in collaborazione con le aziende del settore.

## H4600 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

|                      |   |
|----------------------|---|
| Anno: 3              | Periodo: 1  |
| Impegno (ore totali) | lezioni: 60      esercitazioni: 52      laboratori: 8 |
| Docente:             | <b>Enrico BALLATORE</b>                               |

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 quale premessa alle applicazioni pratiche mediante esercitazioni individuali presso il Laboratorio Informatico.

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 svernamento e la frattura fragile.

Il corso comprende lezioni, esercitazioni in aula e nel Laboratorio Informatico.

### REQUISITI

Analisi Matematica I e II, Fisica generale I.

### PROGRAMMA

Sono previste tredici settimane di lezioni con un numero di ore settimanali variabile da quattro a sei secondo un calendario dettagliato distribuito all'inizio del corso.

#### *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.

#### *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.

#### *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.

#### *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.

### *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.

### *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.

### *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.

### *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.

### *Lastre piane*

Equazione di Sophie Germain; cenni al metodo delle differenze finite.

### *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.

### *Sistemi di travi iperstatici*

Simmetria e anti-simmetria; 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).

### *Risoluzione di telai piani iperstatici*

Metodo degli spostamenti; distorsioni termiche; telai a nodi fissi; telai a nodi spostabili.

### *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 flesso-torsionale.

### *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.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Sono previste tredici settimane di esercitazioni con un numero di ore settimanali variabile da quattro a sei secondo un calendario dettagliato distribuito all'inizio del corso: oltre alle ore di effettiva attività didattica sono previste anche dodici ore per accertamenti sostitutivi dello scritto e per verifiche di apprendimento.

- 1 *Geometria delle aree*: calcolo delle caratteristiche geometriche di aree elementari; esercizi su figure composte.
- 2 *Cinematica dei sistemi di travi*: catene cinematiche e loro applicazione al calcolo reazioni vincolari.

- 3-4 *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.
- 5-6 *Applicazione del Principio dei Lavori Virtuali alle travi elastiche*: determinazione degli spostamenti in strutture isostatiche; risoluzione delle strutture iperstatiche con distorsioni e spostamenti imposti.
- 7 *Esercitazioni riepilogative* su strutture isostatiche e iperstatiche con soluzione dei temi di esame degli anni precedenti relativi a tali argomenti.
- 8-9 *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.
- 10 *Esercitazione di Laboratorio Informatico*: introduzione all'uso del programma di calcolo basato sul metodo degli elementi finiti  
*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.
- 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 (contenente tutti gli argomenti svolti a lezione ed esercitazione):

A. Carpinteri, *Scienza delle Costruzioni*, Pitagora, Bologna, 1995.

Dispensa sull'utilizzo del programma ad elementi finiti, viene fornita durante il corso.

Testo ausiliario:

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

## ESAME

L'esame si compone di:

1. Una prova scritta che comprende tre esercizi:

- una struttura isostatica,
- una struttura iperstatica,
- 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.

Per sostenere la prova scritta lo studente deve esibire il tesserino universitario e lo statino; quest'ultimo sarà ritirato nel caso in cui lo studente consegni il proprio elaborato.

La prova orale deve essere sostenuta nella stessa sessione di esami in cui è stato superato lo scritto.

*Accertamenti sostitutivi della prova scritta.*

Il superamento delle due prove di accertamento previste durante il corso sostituisce il compito scritto con validità sino alla fine dell'anno accademico in corso; le due prove sono costituite da:

1. due esercizi relativi a:

- una struttura isostatica,
- una struttura iperstatica da risolvere con l'applicazione del P.L.V;

2. due esercizi relativi a:

- una struttura iperstatica da risolvere con il metodo dei telai piani,
- una sezione (calcolo delle caratteristiche geometriche e verifica di resistenza).

Ciascun esercizio pone due quesiti: le prove sono globalmente positive se sono stati risolti almeno i primi quesiti di tutti e quattro gli esercizi.

|                      |               |                   |                |
|----------------------|---------------|-------------------|----------------|
| Anno: 4              | Periodo: 1    |                   |                |
| Impegno (ore totali) | lezioni: 85   | esercitazioni: 10 | laboratori: 10 |
| Docente:             | Ignazio AMATO |                   |                |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si prefigge di fornire una ampia panoramica sulla scienza e tecnologia dei materiali ceramici per applicazioni ingegneristiche, come rispecchia la sua organizzazione in tre grandi blocchi didattici: la scienza dei materiali ceramici, volta allo studio teorico della loro struttura e del comportamento, soprattutto meccanico; la tecnologia dei materiali ceramici, incentrata sui processi di produzione e trasformazione; la descrittiva dei principali materiali ceramici di interesse ingegneristico.

### PROGRAMMA

Introduzione e classificazione dei ceramici. Applicazioni, potenzialità e mercato.

La scienza dei materiali ceramici: ordine cristallino, proprietà dei cristalli, strutture cristalline; solidi policristallini; microstruttura, ceramografia; i legami nei solidi, solidi ionici, covalenti, metallici e misti; comportamento superficiale dei solidi: energia superficiale, bagnabilità, capillarità, assorbimento, superficie dei solidi. Le proprietà dei ceramici: solidi duttili e solidi fragili; maccanica della frattura: tenacità e fatica; resilienza e durezza; comportamento termomeccanico; correlazione tra proprietà e microstruttura. La densificazione dei ceramici: i difetti nei solidi (di punto, di linea, di superficie) e la diffusione; sinterizzazione: generalità e meccanismi, stadi del processo, evoluzione della porosità; sinterizzazione multifase e multicomponenti; la pressatura a caldo.

La tecnologia dei materiali ceramici: polveri ceramiche, specifiche e caratteristiche; processi di fabbricazione industriali e speciali (sol-gel); additivi di processo e meccanismi d'azione; meccanica delle particelle e reologia; preparazione delle polveri preventiva alla formatura (trasporto, macinazione, mescolamento, lavaggio); granulazione e formatura a secco; formatura a plastico, estrusione, per colaggio; essiccamento, finitura, rivestimenti; cottura.

La descrittiva: confronto tra le caratteristiche delle varie classi di ceramici. Ceramici a base ossido; vetro, fibre di vetro e vetroceramici; ceramici a base nitruuri; diamante policristallino; ceramici a base carburi, boruri e siliciuri. Cermet ed utensili da taglio. Rinforzi ceramici (fibre, whiskers...); compositi ceramici e nanocompositi.

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Dopo alcune esercitazioni introduttive in aula, gli studenti, suddivisi in squadre a numero limitato, svolgeranno in laboratorio: analisi strutturale e microstrutturale; determinazione di proprietà meccaniche con applicazione della statistica di Weibull; caratterizzazioni delle polveri ceramiche: granulometria, area della superficie specifica; porosità di polveri e sinterizzati; valutazione della densità; analisi termiche e dilatometriche (a cura di Laura Montanaro).

### BIBLIOGRAFIA

- I. Amato, L. Montanaro, Lezioni dal corso: Vol. I, La scienza dei materiali ceramici, Cortina ed. 1996; Vol. II, La tecnologia dei materiali ceramici, Cortina ed., 1997; Vol. III, I materiali ceramici (in stampa).  
 J.S. Reed, Introduction to principles of ceramic processing, Pergamon press ed., 1995.  
 I. Amato e L. Montanaro: Monografie varie.

### ESAME

Orale su tutto il programma oppure esonero facoltativo in corso d'anno sulle due parti di scienza e tecnologia dei materiali ceramici ed infine esame orale sulla parte di descrittiva. Ricerca monografica.



Anno: 3  
 Impegno (ore sett.)  
 Docente:

Periodo:1  
 lezioni: 6  
**Daniele MAZZA**

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

*La struttura dell'atomo.*

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

*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.

*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.

*Elementi di teoria delle bande nei solidi*

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

*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.

*La conduzione elettrica nei semiconduttori.*

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

*La giunzione n-p nei semiconduttori estrinseci.*

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

*Materiali superconduttori.*

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

*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.

*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.

*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).

*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 di Scienza e Tecnologia dei Materiali Elettrici" ed. Politeco (Torino).

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.

Anno: 5

Periodo: 2

Impegno (ore totali)

lezioni: 78

esercitazioni/laboratori: 26

Docente:

**Roberta BONGIOVANNI****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Scopo del corso è di fornire le conoscenze di base sulla struttura dei materiali polimerici, sulle loro proprietà e sulle loro tecnologie di trasformazione. A tale scopo vengono dapprima forniti elementi propedeutici di chimica organica. Sono poi trattati i polimeri di uso generale, termoplastici e termoindurenti, considerando la loro preparazione e le loro principali proprietà in relazione con la struttura. Vengono infine illustrate le tecnologie di trasformazione dei materiali polimerici e le loro più importanti applicazioni industriali.

**REQUISITI**

Si richiede di avere superato l'esame di Chimica.

**PROGRAMMA**

- Nozioni di chimica organica. (16 ore)

La chimica del carbonio. Classificazione dei composti organici e delle loro principali reazioni, con particolare attenzione per i principali monomeri e per i gruppi funzionali presenti nei polimeri. Fenomeni di isomeria e stereoisomeria.. Tecniche di analisi UV- Visibile, IR, NMR.

Reazioni di polimerizzazione. (18 ore)

Polimeri di policondensazione: schema del processo e controllo del peso molecolare (P.M.)

Polimeri di poliaddizione radicalica: condizioni operative, cinetica della reazione e controllo del P.M. Polimeri di poliaddizione ionica. Polimerizzazione stereospecifica Ziegler-Natta. Reazioni di copolimerizzazione. Tecniche industriali di polimerizzazione.

- Struttura e caratterizzazione delle macromolecole. (14 ore)

Pesi molecolari e loro distribuzione. Forze di coesione intermolecolari, regolarità e flessibilità della catena polimerica. Struttura supermolecolare: stato amorfo e stato cristallino. Reticoli polimerici, densità di reticolazione. Caratterizzazione termica: temperatura di fusione e temperatura di transizione vetrosa.

- Proprietà dei materiali polimerici in massa (12 ore)

Proprietà termiche: capacità termica, dilatazione, conducibilità. Proprietà meccaniche: rigidità, resistenza a trazione, resilienza. Comportamento viscoelastico dei polimeri: reologia dei polimeri fusi. Proprietà delle gomme. Proprietà elettriche: conducibilità, costante dielettrica, fattore di dissipazione. Proprietà ottiche: indice di rifrazione, trasparenza. Vetri organici

- Materiali polimerici termoplastici e loro tecnologie di trasformazione (12 ore)

Polimeri di impiego generale: poliolefine, polietilene, polivinilcloruro e polistirene, poliesteri, poliammidi, policarbonati. Produzione di gomme sintetiche.

Produzione industriale: additivi, cariche e compounding; tecnologie di iniezione, estrusione, calandratura, termoformatura, stampaggio rotazionale, spalmatura.

- Materiali polimerici termoindurenti. (6 ore)

Poliuretani, poliesteri insaturi e altre principali classi di resine. Materiali polimerici espansi. Tecnologie di trasformazione e applicazioni.

**LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Sono previste esercitazioni in aula a cadenza settimanale con applicazioni di calcolo sugli argomenti di lezione e sei esercitazioni sperimentali di laboratorio con squadre a numero limitato di



|                     |                         |                  |               |
|---------------------|-------------------------|------------------|---------------|
| Anno: 5             | Periodo: 1              |                  |               |
| Impegno (ore sett.) | lezioni: 4              | esercitazioni: 2 | laboratori: 4 |
| Docente:            | <b>Andrea DE MARCHI</b> |                  |               |

---

## **PROGRAMMA**

### *Introduzione.*

Classificazione, caratteristiche e terminologia, grandezze di influenza, criteri di scelta.

### *Caratterizzazione metrologica.*

Propagazione degli errori, analisi dell'incertezza, analisi spettrale, processi di rumore e derive, stima della stabilità.

### *Sensoristica tradizionale.*

*Strain gauge*, termometria, piezometria, sensori fotovoltaici, rivelatori di radiazioni nucleari.

### *Condizionamento di segnale.*

Circuiti per sensori resistivi, circuiti per sensori capacitivi ed induttivi, circuiti per sensori numerici.

### *Sensori ottici.*

Principi di funzionamento, sorgenti di radiazione, canali di trasmissione, rivelatori di radiazione.

### *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*.

### *Sensoristica per la qualità della vita.*

Biosensori, sensori chimici, sensori di rumore acustico.

### *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: 2            | Periodo: 2   |                  |                |
| Impegno(ore sett.) | lezioni: 4-6   | Esercitazioni: 2 | Laboratorio: 2 |
| Docente:           | <b>Elena BARALIS</b> (Dipartimento di Automatica e Informatica,<br>tel. 564 7075, e-mail: baralis@polito.it, ricevimento lun. 10.30-11.30) |                  |                |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso consiste nell'approfondimento di due argomenti fondamentali per l'organizzazione di sistemi complessi di elaborazione dell'informazione: i sistemi per la gestione delle basi di dati e le reti di telecomunicazioni.

Si propone il duplice obiettivo di approfondire, in questi due settori specifici, le conoscenze informatiche generali acquisite nell'ambito del corso di Fondamenti di informatica e di fornire una conoscenza di base delle applicazioni dell'informatica nell'industria.

### REQUISITI

Fondamenti di informatica.

### PROGRAMMA

#### 1) Basi di dati (40 ore)

- Caratteristiche del modello relazionale
- Algebra relazionale
- Il linguaggio SQL: istruzioni per la definizione e l'elaborazione dei dati
- Sistemi per la gestione delle transazioni
- Gestione dei problemi dovuti a malfunzionamento
- Cenni su modelli prerelazionali (reticolare e gerarchico) e ad oggetti
- Modello concettuale dei dati: modello Entità Relazione
- Tecniche di progettazione concettuale di una base di dati
- Tecniche di progettazione logica relazionale
- Cenni di teoria della normalizzazione

#### 2) Reti di calcolatori (20 ore)

- Struttura di una rete di telecomunicazione, topologie di rete
- Servizi di telecomunicazione
- Tecniche di commutazione
- Modello ISO/OSI
- Rete Internet
- Linguaggio HTML
- Reti locali (LAN): Ethernet, token ring, FDDI
- Reti metropolitane (MAN) e reti geografiche (WAN)

### LABORATORI E/O 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 (foglio elettronico)
- Uso di strumenti Internet
- Progettazione di pagine HTML

## BIBLIOGRAFIA

### TESTI DI RIFERIMENTO

E. Baralis, C. Demartini, "Appunti del corso di Basi di Dati".

M. Ajmone Marsan, F. Neri, "Appunti del corso di Reti di Telecomunicazioni".

### TESTI AUSILIARI

P. Atzeni, S. Ceri, S. Paraboschi, R. Torlone, "Basi di dati: concetti, linguaggi e architetture", McGraw-Hill, 1997.

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, 1995.

A.S. Tanenbaum, "Computer networks", Prentice-Hall, 1988.

## ESAME

Prova scritta e prova orale.

## **H4980      SISTEMI ELETTRICI PER L'ENERGIA**

Anno: 5                                      Periodo: 2  
Impegno (ore totali)    lezioni: 70                      esercitazioni: 40  
Docente:                                      **Enrico CARPANETO**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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 II, Controlli automatici.

### **PROGRAMMA**

*Introduzione.* [4 ore]

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

*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.

*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 transistori elettromeccanici.

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

*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.

*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.

**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.

## **LABORATORI E/O 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*, Patron, Bologna.

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.

Anno: 5

Periodo: 1

Impegno (ore sett.)

lezioni: 4

esercitazioni/laboratori: 4

Docente:

**Umberto PISANI****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso è rivolto agli allievi ingegneri che intendono acquisire conoscenze sui moderni Sistemi di Misura controllati da elaboratori elettronici e sulla strumentazione programmabile. Saranno esaminate inoltre le problematiche connesse all'acquisizione dati mediante sensori, trasduttori e sugli ambienti software di programmazione di schede di acquisizione integrate in un PC. Si accennerà anche ai sistemi automatici di collaudo di piastre elettroniche (ATE).

Per gli allievi dei corsi di laurea in Ingegneria Elettronica ed Ingegneria Elettrica le conoscenze sui fondamenti della misurazione, sulla teoria degli errori, e sui metodi e strumenti di misura, sono fornite nei corsi precedenti di Misure Elettroniche e di Misure Elettriche. Gli allievi del corso di laurea in Ingegneria Informatica sono sicuramente in grado di seguire con profitto il corso per gli aspetti informatici e sistemistici che esso contiene e avranno bisogno di una integrazione a livello seminariale che il docente provvederà a fornire loro.

**PROGRAMMA**

- 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).

- 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).

- 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 (2 ore)

Principi di funzionamento dei sensori più diffusi, condizionamento e linearizzazione (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)

- Acquisizione multic canale:

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).

- Cenni ai sistemi automatici di collaudo (ATE)

Generalità sul collaudo "in circuit" di schede elettroniche: strategie di misura e collaudo, architettura dei sistemi (4 ore).

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

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.

- Il software LAB-VIEW introduzione (2ore)
- Progetto e realizzazione di uno strumento di misura virtuale basato su software LAB VIEW. (40 ore)  
tracciare di caratteristiche di diodi e transistori
- Sviluppo di programma per la gestione di strumentazione mediante l'interfaccia IEEE-488 (16 ore)

## BIBLIOGRAFIA

M.G. Mylroi, G. Calvert: Measurement and Instrumentation for control, Peter Peregrinus Ltd. (IEE)

S. Pirani: Sistemi automatici di misura e acquisizione dati IEEE-488.1, Esculapio, Bologna 1990. Edelektron ed.: Metodi di interfacciamento.

## ESAMI

Consistono in 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: 5                                      Periodo: 1  
Impegno (ore sett.)                      lezioni: 6                                      esercitazioni: 2  
Docente:                                      **Vito CARRESCIA**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso intende fornire agli allievi i fondamentali 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**

*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. Il rapporto tra norme di legge e norme di buona tecnica. Applicabilità delle norme agli impianti preesistenti. Alcuni dati statistici sugli infortuni elettrici. [8 ore]

*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]*

*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]

*Il terreno come conduttore elettrico.*

La resistenza di terra. I potenziali sulla superficie del terreno. Dispensori in parallelo. Tensione totale e tensione di contatto a vuoto e a carico. [2 ore]

*Isolamento funzionale, principale, supplementare, rinforzato.*

Definizione di massa. Curva di sicurezza. Massa estranea. Classificazione dei sistemi elettrici in relazione alla tensione. [4 ore]

*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]

*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]

*Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi IT.*

Sovratensioni per guasto resistivo e induttivo a terra. [2 ore]

*Protezione contro i contatti indiretti senza interruzione automatica del circuito.*

Trasformatore d'isolamento, apparecchi di classe seconda e di classe zero. [2 ore]

*Protezione contro i contatti indiretti in alta tensione.*

Dispensore 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]

*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]

*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]

*Misure di protezioni particolari in ambiente medico.*

*Microshock.* Sicurezza delle apparecchiature elettromedicali. Elettrobisturi. [2 ore]

*Sezionamento e comando.* [4 ore]

Comando d'emergenza. Comando funzionale. L'interruttore generale. Interruzione per motivi non elettrici. Circuiti di comando: sicurezza contro l'azionamento intempestivo.

*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]

*Brevi richiami alla corrente di cortocircuito.*

Sollecitazioni termiche in condizioni di cortocircuito. Requisiti del dispositivo di protezione contro cortocircuito. [4 ore]

*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]

*Protezione dei motori contro il sovraccarico e il cortocircuito.*

Requisiti dell'alimentazione di sicurezza, con particolare riferimento all'illuminazione di sicurezza. [4 ore]

*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]

*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]

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Progetto dell'impianto di terra di una stazione di trasformazione. [4 ore]

Confronto e analisi delle misure di protezione contro i contatti diretti e indiretti. [4 ore]

Misure della resistenza di terra e delle tensioni di contatto di passo in una officina elettrica dell'ENEL. [4 ore]

Determinazione della lunghezza massima protetta di un circuito protetta da un fusibile. [4 ore]

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*, Edizioni TNE.

## **P5490      TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI**

Anno: 5

Periodo: 1

Impegno (ore sett.)

lezioni: 4

esercitazioni: 4

laboratori ed attività assistita: 3

Docente:

**Adelmo CROTTI** (collab.: **Cristina PRONELLO**)

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso ha lo scopo di fornire i fondamenti dell'ingegneria dei trasporti attraverso la trattazione delle principali teorie che stanno alla base della pianificazione, della tecnica e della gestione dei sistemi di trasporto.

Si configura pertanto come corso formativo e informativo di settore e propedeutico per i corsi specialistici del 5° anno.

### **REQUISITI**

Istituzioni di economia (Civ.) - Meccanica applicata alle macchine/Macchine - Elettrotecnica - Ricerca Operativa.

### **PROGRAMMA**

#### **I MODULO: ELEMENTI DI ECONOMIA DEI TRASPORTI E DELLE IMPRESE DI TRASPORTO**

- Le basi storiche dell'attuale assetto dei trasporti. La politica dei trasporti in Italia e nei paesi industrializzati. L'organizzazione dei trasporti in Italia (lez. 8 h, esercit. 0 h).
- La spesa nazionale nel settore trasporti ed il conto nazionale dei trasporti. Le forme di mercato e le sue imperfezioni. I costi di produzione. Le tariffe. Le sovvenzioni alle imprese, la politica fiscale. Analisi della domanda e dell'offerta di trasporto (lez. 8 h, esercit. 0 h).
- I Bilanci e gli indicatori gestionali. Costi e ricavi totali, medi e marginali. Punto di pareggio e di massimo profitto. Organizzazione delle imprese (lez. 4 h, esercit. 12 h).

#### **II MODULO: ELEMENTI DI TECNICA DEI TRASPORTI: IL MOTO ED IL DEFLUSSO DEI VEICOLI TERRESTRI**

- Caratteristiche e prestazioni dei veicoli terrestri. Il moto del veicolo: forze attive e resistenze. Caratteristiche meccaniche dei motori di trazione. Fasi caratteristiche del moto (lez. 8 h, esercit. 10 h).
- Caratteristiche e prestazioni delle infrastrutture stradali e ferroviarie. Le teorie del deflusso: capacità e potenzialità di trasporto. I sistemi a guida libera e a guida vincolata. Sistemi di esercizio e regimi di circolazione. (lez. 8 h, esercit. 6 h).
- Le prestazioni dei sistemi di trasporto. Sistemi di trasporto integrati, nodi di interscambio, intermodalità. I trasporti metropolitani. Il dimensionamento dei servizi. Le risorse per la produzione del trasporto (lez. 4 h, esercit. 4 h).

#### **III MODULO: ELEMENTI PROPEDEUTICI ALLA PIANIFICAZIONE DEI TRASPORTI E LA VALUTAZIONE DEGLI INVESTIMENTI E DEI PROGETTI**

- La statistica descrittiva e induttiva: probabilità, distribuzioni di frequenza. Il campionamento (lez. 2 h, esercit. 6 h).
- L'interpolazione. La regressione. La correlazione (lez. 0 h, esercit. 4 h).
- Le serie storiche: trend e componenti della serie. Metodi previsionali: curva ad occhio, media mobile, metodi regressivi, exponential smoothing. (lez. 0 h, esercit. 4 h).
- Modelli di domanda e di offerta. Modelli previsionali. Tecniche quantitative per la pianificazione dei trasporti (lez. 4 h, esercit. 0 h).
- L'analisi finanziaria. L'analisi economica. L'analisi costo-efficienza (lez. 4 h, esercit. 4 h).

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni consistono nello svolgimento di esercizi relativi ai temi trattati in modo teorico a lezione. Alcune esercitazioni comprendono sia la spiegazione teorica dell'argomento che l'applicazione pratica (es. il modulo propedeutico alla pianificazione dei trasporti).

## **BIBLIOGRAFIA**

Per ogni argomento verranno fornite le dispense e l'indicazione bibliografica ed il testo di pubblicazioni in tema.

### **TESTI AUSILIARI**

Mario Del Viscovo: "Economia dei Trasporti" UTET; Vincenzo Torrieri: "Analisi del sistema dei trasporti" FALZEA, Reggio Calabria; Marino De Luca: "Tecnica ed Economia dei Trasporti" CUEN, Napoli.

## **ESAME**

Prova d'esame scritta e orale.

### **ESAME SCRITTO**

Risoluzione di esercizi su argomenti trattati nelle esercitazioni, senza possibilità di consultazione di testi e appunti.

1. È previsto un accertamento a fine corso che permette di non sostenere la prova scritta, qualora risulti sufficiente.  
Tale accertamento è valido per l'intero anno accademico.
2. Per ciascuna sessione d'esame vi sarà una sola prova scritta nel primo appello che darà la possibilità di sostenere la prova orale in qualsiasi appello della medesima sessione.

### **ESAME ORALE:**

Per l'ammissione alla prova orale occorre aver superato con esito almeno sufficiente la prova scritta.

Anno:3

Periodo: 2

Impegno (ore sett.)

lezioni: 6

esercitazioni: 2

Docenti:

**Ignazio AMATO, Francesco MARINO** per TMCA,**Donato FIRRAO, Giorgio SCAVINO** per TMM(collab.: **Roberto DOGLIONE, Graziano UBERTALLI**)

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di rendere note le conoscenze sul comportamento dei materiali allo scopo di indirizzarne la scelta nelle costruzioni meccaniche; in particolare vengono esposti i principi fondamentali del comportamento dei materiali in riferimento alle loro caratteristiche meccaniche ed all'influenza esercitata da composizione chimica, struttura, microstruttura, eventuali trattamenti termici e lavorazioni meccaniche. Vengono presi in esame i materiali ceramici, metallici, polimerici e compositi descrivendo i processi di ottenimento dei componenti meccanici, le proprietà derivate e le applicazioni. Per le leghe metalliche vengono inoltre illustrate le principali classi di acciai, ed i trattamenti termici e termochimici atti a conferire le caratteristiche meccaniche richieste, le ghise e le leghe di alluminio e rame, con i relativi meccanismi di rafforzamento e le modalità di scelta in opera. Una parte del corso è dedicata sia ai combustibili, allo scopo di fornire le informazioni teoriche ed applicative per i processi di combustione per la generazione di energia, sia ai lubrificanti ed ai meccanismi chimico-fisici della lubrificazione, sia ai trattamenti industriali delle acque.

### PROGRAMMA

- *M/CH Presentazione del corso*: argomenti trattati, impegno orario, difficoltà della materia, modalità d'esame. [1 ora]
- *CH Scienza dei Materiali*: I solidi. L'ordine nei solidi. Cristalli e strutture cristalline. Solidi ionici, solidi covalenti, solidi metallici: legami, struttura e proprietà. Solidi policristallini, microstruttura. Stato vetroso. Stato polimerico [4 ore]
- *M Le fasi metalliche*: Reticoli cristallini di strutture cubiche ed esagonali nei metalli. Indicizzazione di direzioni e piani. Lacune ottaedriche e tetraedriche, soluzioni solide interstiziali e sostituzionali, soluzioni solide ordinate, trasformazioni ordine-disordine, fasi di Hume-Rothery, Laves e semimetalliche, carburi, fasi intermedie [4 ore].
- *M Difetti nei cristalli e rafforzamento di leghe*: vacanze, dislocazioni di spigolo ed a vite. Linea di dislocazione. Vettore di Burgers. Movimenti delle dislocazioni durante la deformazione plastica dei cristalli metallici. Rafforzamento dei cristalli per soluzione solida. Inserimento di atomi sostituzionali ed interstiziali attorno ad una dislocazione. Atmosfere di Cottrell e loro influenza sulla mobilità delle dislocazioni. Sistemi di slittamento nei cristalli esagonale compatto, cubico facce centrate e cubico corpo centrato. Tensione critica di taglio in un monocristallo: influenza delle impurezze e della temperatura. Rafforzamento del rame per aggiunta di zinco e rafforzamento della ferrite per aggiunta di vari elementi. Bordi dei cristalli e loro influenza sulla deformabilità dei cristalli. Influenza delle dimensioni dei cristalli sulla resistenza allo snervamento. Relazione di Petch. Individuazione delle dimensioni dei cristalli secondo il metodo ASTM. Punto di snervamento inferiore e superiore. Deformazioni elastiche e plastiche. Equazione costitutiva delle curve di scorrimento dei materiali incruditi. Esponente di incrudimento. Rafforzamento per incrudimento. Variazione della densità delle dislocazioni durante l'incrudimento. Invecchiamento. Allungamento uniforme e totale. Influenza delle particelle di fasi secondarie su tali parametri [4 ore].

- *CH Influenza dei difetti nei solidi su:* Diffusione. Energia superficiale, bagnabilità, capillarità, adsorbimento [2 ore].
- *CH Proprietà dei Materiali:* Resistenza a trazione, compressione. Modulo elastico. Limite di snervamento. Durezza. Fatica meccanica. Dilatazione termica e fatica termica. Scorrimento (creep) Resilienza. Urto termico. Comportamento meccanico dei materiali metallici, ceramici e polimerici [4 ore].
- *M Frattura dei materiali metallici:* Fenomeni che intervengono nella rottura duttile: nucleazione e collegamento di pori formati attorno alle particelle di fasi secondarie. Assorbimento di energia nelle rotture duttili e fragili. - Cenni al meccanismo della frattura (formazione, propagazione, morfologia) - Frattura fragile, duttile e temperatura di transizione [2 ore].
- *CH Acque, Combustibili, Lubrificanti:* Durezza acque ed addolcimento. Depurazione acque. Combustibili: classificazione. Poteri calorifici. Temperatura di combustione. Temperatura di accensione. Combustione ed inquinamento. Abbattimento inquinanti. Lubrificanti e lubrificazione [10 ore].
- *CH Equilibri di fase e trasformazioni di fase:* Esame dei principi che controllano la formazione delle fasi, la loro stabilità e la loro compatibilità. Principi dei diagrammi di stato. Descrizione ed analisi dei diagrammi di stato di importanza pratica di tipo binario. Cenni sui diagrammi di stato ternari [4 ore].
- *M Relazione proprietà meccaniche/diagramma di stato Influenza della velocità di raffreddamento sui diagrammi di stato (segregazioni):* il caso ferro/carbonio, Diagramma di stato Fe/cementite e Fe/grafite [4 ore].
- *M Ricottura di ricristallizzazione:* ricottura di un materiale incrudito, "recovery" ricristallizzazione e crescita dei cristalli. Temperatura di ricristallizzazione. Lavorazioni meccaniche a freddo e a caldo [1 ora].
- *M Imbutitura ed acciai da profondo stampaggio:* coefficiente d'anisotropia normale nella caratterizzazione delle lamiere. Prove tecnologiche di imbutibilità delle lamiere: prova Erichsen, Luft-Dietrich, Swift, Fukui; indice Erichsen; limiting drawing ratio, variazioni dell'indice Erichsen con lo spessore delle lamiere e con l'invecchiamento. Acciai per stampaggio laminati a freddo. Normativa italiana per gli acciai da stampaggio. Composizione chimica degli acciai da stampaggio [1 ora].
- *M Rafforzamento delle leghe per precipitazione - leghe di alluminio:* proprietà meccaniche delle leghe bifasiche: influenza della microstruttura. Rafforzamento delle leghe metalliche per dispersione di fasi secondarie; rafforzamento per precipitazione. Particelle coerenti ed incoerenti. Fenomeni di precipitazione nelle leghe di alluminio: zone di Guinier - Preston e fasi q e q' nelle leghe Al-Cu. Variazione di durezza in funzione del tempo di invecchiamento naturale ed artificiale dopo solubilizzazione. Trattamenti termomeccanici. Cicli di trattamento per le leghe di alluminio per deformazione plastica. Fasi indurenti che possono precipitare nelle leghe di alluminio. Classificazione convenzionale e numerica delle leghe di alluminio. Sistema americano di designazione dei trattamenti termici delle leghe di alluminio. Alluminio e sue leghe: leghe per deformazione plastica: duralluminio e superduralluminio. Leghe placcate. Variazione di densità e modulo elastico in funzione dell'aggiunta di elementi leganti; leghe Al-Li. Cenni sulla tecnologia di fonderia: fusione e colata, formatura, formatura delle anime, ramolaggio, scassetatura. Leghe di alluminio per fonderia e relativi diagrammi di stato. Leghe Al-Si e modificazione dell'eutettico: leghe silumin, anticorodal e alpac. Leghe Al-Cu per fonderia [4 ore].
- *M Leghe di magnesio e di rame:* leghe Elektron Mg-Al, leghe Mg-Al-Zn e Mg-Zn, leghe Mg-Al-Ag. Rame per elettrotecnica: influenza di impurezze tipo O, Bi, Pb; effetto del P. Leghe Cu-As e Cu-Cd per conduttori aerei. Leghe Cu-Pb per trolley. Diagrammi Cu-Cu<sub>2</sub>O, Cu-Bi, Cu-Pb, Cu-P. Resistenza alla corrosione delle leghe di Cu. Diagrammi di stato Cu-Zn, fasi a, b e b'. Ottoni del primo e del secondo titolo. Temperatura di ricristallizzazione degli ottoni. Diagrammi di ricristallizzazione. Corrosione per impoverimento di Zn. Ottoni a lavorabilità migliorata mediante aggiunta di Pb. Leghe Cu-Al, Cu-Al-Zn; leghe Cu-Ni: leghe Monel, alpacche, bronzi allo Sn. Leghe antifrizione a base di Cu. Leghe di Cu induribili per precipitazione. Normativa italiana sulle leghe di Cu [3 ore].

- *CH Materiali ceramici*: classificazione funzionale. Preparazione polveri. Tecnologia di fabbricazione componenti ceramici. Ceramici strutturali. Ceramici termomeccanici. Vetri e vetroceramici. Metallo-ceramici ed utensili da taglio. Rivestimenti: materiali e processi [10 ore].
- *M/CH Leghe ferrose*: Processi siderurgici (materie prime, chimica dell'alto forno) -- Processi di affinazione della ghisa (convertitori soffiati e non soffiati)- Colata - Liquazione -Colata in lingottiera e difetti dei lingotti di acciai. Processi ed impianti di colata continua, [2 ore].
- *M Trasformazioni allo stato solido e trattamenti termici degli acciai*: trasformazione eutettoidica. Nucleazione ed accrescimento della perlite da cristalli di austenite di composizione eutettoidica. Curve di trasformazione isoterma degli acciai al carbonio di composizione eutettoidica (curve TTT). Trasformazione martensitica,  $M_s$  ed  $M_f$ . Velocità critica di tempra. Cella unitaria della martensite, distorsione di Bain. Trasformazione bainitica,  $B_s$  e  $B_f$ . Influenza della temperatura di trasformazione perlitica sulla spaziatura delle lamelle di cementite. Curve di trasformazione degli acciai al carbonio eutettoidici per raffreddamento continuo (curve CCT). Tempi di raffreddamento di barre di acciaio di vario diametro in acqua, olio e aria. Influenza dei vari mezzi di raffreddamento sulle microstrutture e le durezza degli acciai eutettoidici dopo trasformazione per raffreddamento continuo: ricottura completa, normalizzazione, tempra in acqua ed in olio. Curve TTT degli acciai al carbonio ipereutettoidici. Curve CCT degli acciai al carbonio ipoeutettoidici. Curve ad U degli acciai. Caratteristiche della martensite. Acciai ipereutettoidici: esempi di curve TTT e CCT. Curve TTT e CCT degli acciai legati con diversi contenuti di carbonio. Austenite residua ed influenza della temperatura di raffreddamento sul suo tenore. Concetti fondamentali sulla conduzione del calore e sul trasporto di calore all'interfaccia solido-liquido e solido-gas. Mezzi tempranti e numero di Grossmann (H) per caratterizzare la severità del mezzo temprante. Mezzo temprante ideale. Diametro critico e diametro ideale critico; concetto di temprabilità degli acciai. Fattori di Grossmann per il calcolo del diametro ideale critico. Prova Jominy per determinare la temprabilità degli acciai. Fattori che influenzano la forma delle curve Jominy: percentuale di carbonio e diametro ideale critico; determinazione delle curve Jominy per via di calcolo. Correlazione tra curve Jominy e profili di durezza in barre di acciaio temprato. Determinazione delle curve ad U degli acciai. Curve di Lamont per vari mezzi tempranti. Variazioni dimensionali nel passaggio austenite-martensite. Cricche di tempra. Trattamenti particolari di tempra per evitare cricche e distorsioni importanti: tempre attenuate ed interrotte. Trasformazioni strutturali nelle tempre attenuate bainitiche e semi-bainitiche. Impianti di tempra continui e discontinui: forni a tunnel, a camera ed a suola ruotante. Trasformazioni strutturali e variazioni dimensionali che intervengono durante i tre stadi del rinvenimento. Fragilità da rinvenimento. Influenza del  $M_o$  nell'attenuare tale fenomeno. Variazione delle curve Jominy dopo il rinvenimento e calcolo delle curve ad U dopo il rinvenimento. Influenza degli elementi leganti durante il rinvenimento. Durezza secondaria. Calcolo della durezza degli acciai dopo rinvenimento. Effetto cumulativo di tempo e temperatura nei processi di rinvenimento: parametro di Hollomon-Jaffe, [10 ore].
- *M Atmosfere controllate e trattamenti termici*: atmosfere controllate endotermiche ed esotermiche. Pratica dei trattamenti di bonifica: cicli termici completi. Patentamento degli acciai. Introduzione alla cementazione ed ai trattamenti termici superficiali: influenza della resistenza a fatica ed ad usura. Cementazione: potenziale di carbonio delle atmosfere carburanti. Influenza dell'ossido di carbonio e del metano sulla cementazione. 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> legge di Fick. Soluzione della 2<sup>a</sup> legge di Fick nel caso di concentrazione superficiale costante. Funzione degli errori. Relazione spessore-tempo di cementazione. Cementazione gassosa ed in plasma. Trattamenti termici dopo cementazione. Acciai per cementazione. Nitrurazione: diagramma stabile e metastabile Fe-N. Fasi  $\gamma'$  ed  $\epsilon$ : Reazioni ammoniaca-acciaio. Diagramma di Leher di equilibrio tra le fasi nitrurate e le miscele ammoniaca-idrogeno. Strati superficiali e strati di diffusione. Evoluzione nel tempo della profondità di diffusione. Acciai per nitrurazione: importanza degli elementi leganti. Cicli di nitrurazione. Caratteristiche della fase  $\epsilon$ . Cenni sulla nitrocarburazione. Processi di tempra superficiale al canello e per induzione elettromagnetica. Tempra in stazionario ed in progressivo. Acciai per tempra superficiale e loro cicli termici, [6 ore].

- *M Acciai comuni e legati*: Influenza degli elementi leganti negli acciai: elementi alfojeni ed austenitizzanti. Acciai inossidabili: generalità ed influenza del cromo. Acciai inossidabili ferritici e martensitici al cromo. Acciai inossidabili austenitici e fragilità di rinvenimento. Effetto di Mo, Nb, Ti, Ta, sulla stabilizzazione dei carburi. Acciai per carpenteria metallica. Elementi di saldatura; saldabilità degli acciai. Considerazioni sulla composizione degli acciai per costruzioni saldate. Acciai al silicio: effetto dell'elemento sul diagramma di stato Fe-C e sulla resistenza al rinvenimento. Acciai per molle e per valvole di motori a combustione interna. Acciai al manganese: effetto sui punti critici e temprabilità. Acciai autotemperanti ed indeformabili. Acciai Hadfield. Acciai al Nichel: effetto dell'elemento sui punti critici e temprabilità. Acciai per impieghi criogenici. Acciai maraging; trattamenti termici ed applicazioni. Acciai per utensili per le lavorazioni meccaniche: effetto del cromo, molibdeno, vanadio sulla resistenza al rinvenimento e sull'indurimento secondario. Acciai per stampi per deformazione a caldo. Acciai per lavorazioni per deformazione a freddo. Acciai rapidi e loro trattamento termico. Trattamenti termochimici superficiali degli acciai per utensili [6 ore].
- *CH Materiali polimerici*: Classificazione materiali polimerici. Materiali termoplastici: processi, proprietà. Materiali termoindurenti: processi, proprietà. Materiali elastomerici (gomme): processi, proprietà. Riciclo materiali polimerici a fine vita [10 ore].
- *M Ghise*: classificazione in ghise nere, grigie e bianche. Condizioni per la solidificazione secondo il diagramma di stato Fe-grafite e Fe-cementite. carbonio equivalente. Ghise grigie per getto. Struttura e morfologia ottimale della grafite. Processi di inoculazione prima della colata. Classificazione UNI delle ghise grigie. Ghise sferoidali. Caratteristiche meccaniche e modalità di produzione. Ghise malleabili: caratteristiche e cicli termici. Colata in terra e in conchiglia delle ghise [2 ore].
- *CH Materiali compositi: I materiali di rinforzo*: fibre di vetro, fibre carbonio, fibre ceramiche. Comportamento meccanico compositi. Compositi a matrice polimerica. Compositi a matrice ceramica e metallica. Nanocompositi [5 ore].

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

*M* Esercizi di cristallografia e di applicazione della legge di Bragg [2 ore]

*M* Prove meccaniche sui materiali - Trazione - Resilienza - Durezza (con prove sperimentali in laboratorio) - Fatica - Scorrimento viscoso - Significato di un test di compressione e modulo di rottura MOR - Interpretazione dei dati ai fini della progettazione: Parametro di Larson/Miller, [4 ore].

*CH* Combustibili e lubrificanti, [2 ore]

*M* Analisi microscopica dei materiali: metallografia e ceramografia [2 ore]

*M* Classificazione degli acciai [2 ore]

*CH* Acque, [2 ore]

*M* Trattamenti termici, [2 ore]

**Legenda:** *CH* = Tecnologia dei materiali e chimica applicata. *M* = Tecnologia dei materiali metallici

## **BIBLIOGRAFIA**

C. Brisi "Chimica Applicata", ed. Levrotto & Bella, 1982.

A. Burdese "Metallurgia e tecnologia dei materiali metallici", ed. UTET Torino.

W. Kurz, J.P. Mercier e G. Zambelli: "Introduzione alla Scienza dei Materiali", ed. Hoepli, Milano, 1994.

I. Amato, L. Montanaro "Lezioni dal Corso di Scienza e Tecnologia Ceramiche", ed. Cortina, Torino, 1995.

W. Hellerich "Prontuario Materie Plastiche", ed. Tecniche Nuove, Milano, 1984.

K. Nagdi "Manuale della Gomma" ed. Tecniche Nuove, Milano, 1987.

## **ESAME**

Esame orale.



Anno: 5

Periodo: 2

Impegno (ore totali)

lezioni: 56

esercitazioni: 48

Docente:

**Augusto DE FILIPPI**

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Scopo del Corso è l'ampliamento delle conoscenze sui processi tecnologici utilizzati dalle industrie manifatturiere del settore meccanico per la fabbricazione in media e grande serie di prodotti anche in materiali innovativi. Vengono innanzitutto discusse, nell'ambito della Produzione Snella e dell'Ingegneria Simultanea, le relazioni tra progettazione, fabbricazione e montaggio, affrontando le tematiche del *Design for Manufacture* (DFM) e del *Design for Assembly* (DFA). Sono quindi analizzati i processi per la fabbricazione di parti in materiali polimerici termoplastici o termoindurenti, la metallurgia delle polveri, le macchine e i sistemi produttivi con automazione rigida o ibrida, l'attrezzaggio delle macchine utensili e la scelta delle condizioni ottimali di taglio. Alcuni metodi non convenzionali di lavorazione sono trattati nel corso del programma, in quanto collegati con le tematiche principali.

The Course is compulsory for the students who choose the "Manufacturing" trend and completes the trilogy of technological courses which started during the 3rd year.

First of all are discussed, in the ambit of Lean Production and Simultaneous Engineering, the relationships among design, manufacturing and assembly, by analysing the topics of DFM and DFA. Follows the treatment of manufacturing systems characterized by rigid or flexible automation as well of cutting conditions optimization and fixture design. Problems connected with some particular productive processes (powder metallurgy, plastic part technology and non traditional machining techniques) are also examined.

The lessons are integrated with practical exercises, aimed to the application of the theoretical knowledge, and with visits to some industrial plants.

### **REQUISITI**

Sono da considerarsi propedeutici i Corsi di *Scienza delle Costruzioni* e di *Meccanica Applicata alle Macchine*, oltre naturalmente ai Corsi nei campi del disegno e della tecnologia meccanica.

### **PROGRAMMA**

1. *Introduzione al Corso. Produzione Snella e Ingegneria Simultanea.*

Produzione e sua organizzazione. Cenni storici. Progettare per la fabbricazione (DFM) e progettare per il montaggio (DFA): critica economica del progetto e scelta del processo produttivo; scelta del materiale e delle tolleranze di lavorazione; accorgimenti progettuali per ridurre i tempi di lavorazione e di montaggio; prototipazione rapida e sue applicazioni nello stampaggio della lamiera e dei materiali polimerici, e nella fusione (Rapid Tooling).

2. *Processi per la formatura dei materiali polimerici e metallurgia delle polveri.*

Materie plastiche e compositi: caratteristiche reologiche, settori di utilizzo, riciclaggio; processi per la fabbricazione di prodotti in plastica; costruzione di manufatti in composito e loro lavorazione.

Metallurgia delle polveri: materiali e loro proprietà; fasi tecnologiche essenziali e lavorazioni complementari; confronti con altri processi di fabbricazione; criteri per la progettazione dei pezzi; controlli e collaudi.

3. *Macchine utensili con automazione rigida o ibrida.*

Macchine utensili con automazione rigida: torni automatici plurimandrino e loro evoluzione verso il Controllo Numerico con soluzioni ibride, macchine con teste operatrici multiple, linee a trasferimento.

#### 4. Criteri per l'uso ottimale e per l'attrezzaggio delle macchine utensili.

Ottimizzazione delle condizioni di taglio in presenza di vincoli (leggi non tayloriane per la durata dell'utensile, limiti posti dal sistema formato da macchina utensile - utensile - pezzo).

Attrezzature di lavorazione: classificazione e campi di utilizzo, componenti caratteristici e loro costruzione, attrezzature modulari e la loro progettazione automatica con l'integrazione CAD-Sistema Esperto.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Il programma delle Esercitazioni potrà subire variazioni dettate da esigenze didattiche e organizzative. In linea di massima si prevedono i temi seguenti:

Applicazioni dei concetti DFM e DFA.

Analisi di uno stampo per l'iniezione della plastica con valutazione analitica delle voci di costo e del numero ottimale delle impronte.

Stage presso aziende per l'analisi di processi produttivi con stesura di una relazione tecnica.

Studio di una linea rigida a trasferimento.

Progettazione di componenti di attrezzature di bloccaggio.

Visite di impianti produttivi presso Aziende.

### **BIBLIOGRAFIA**

- Appunti del Docente

- S. Kalpakjian, *Manufacturing Engineering and Technology*, Addison-Wesley

- M. Rossi, *Attrezzature meccaniche e lavorazioni in serie*, Tecniche nuove.

### **ESAME**

Non essendo previsti accertamenti durante il Corso esiste unicamente l'esame finale che prevede la sola prova orale. Alla valutazione contribuisce il giudizio sulle relazioni preparate durante le Esercitazioni.

|                     |  |                  |
|---------------------|--|------------------|
| Anno: 5             | Periodo: 2   |                  |
| impegno (ore sett.) | lezioni: 4   | esercitazioni: 4 |
| Docente:            | <b>Mario VILLA</b> (collab.: <b>Francesco IANNELLI</b> ) |                  |

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di fornire le conoscenze teoriche e le tecniche applicative necessarie ad affrontare e risolvere i principali problemi relativi al traffico e alla circolazione delle persone e dei veicoli sia nella fase di formazione della domanda di spostamento che nella fase di movimento e sosta. Si affrontano altresì gli argomenti della modellizzazione dei fenomeni della mobilità urbana e delle tecniche per il loro uso nella pianificazione della circolazione, delle indagini sulla domanda di spostamenti avendo come riferimento la redazione dei Piani Urbani del Traffico previsti dal Codice della strada e dalla sua normativa, con riferimento agli obiettivi che lo stesso codice delinea (fluidità, sicurezza, qualità dell'ambiente, riduzione dell'inquinamento). Infine vengono trattate le questioni della applicazione dei piani e delle procedure di valutazione di efficacia ed efficienza delle politiche adottate.

### REQUISITI

Opportuna la frequenza di Tecnica ed economia dei trasporti.

### PROGRAMMA

[1. settimana]

La pianificazione della mobilità e della circolazione. Le relazioni fra il sistema economico e territoriale e la mobilità.

La generazione della domanda di mobilità espressa dal territorio. I fenomeni della crescita urbana e le variabili fondamentali. I sistemi urbani lavoro-residenze e servizi.

La mobilità urbana.

La sequenza delle procedure di pianificazione: la definizione degli obiettivi, dei vincoli e degli scenari. Le variabili economiche, urbanistiche, tecnologiche e comportamentali.

[2. settimana]

La generazione della mobilità: Le indagini O/D: a larga scala, alla scala urbana, alla scala microurbana, le indagini ISTAT.

[3. settimana]

La modellistica di generazione degli spostamenti.

I fenomeni della interattività economica e della mobilità. I fenomeni gravitazionali. I fenomeni della integrazione delle funzioni in rete e la mobilità di rete.

La modellistica dei fenomeni interattivi: gravitazionale, etc. I fenomeni dissuasivi.

[4. settimana]

La distribuzione degli spostamenti sul territorio e alla scala urbana: modelli di interazione spaziale a semplice doppio vincolo, le matrici di calibrazione, le matrici dei tempi. I modelli di Fratar. Il modello di equilibrio preferenziale.

Il sistema dell'offerta: l'offerta di infrastrutture e di servizi di trasporto.

La determinazione quantitativa e qualitativa della offerta.

[5. settimana]

La teoria della capacità delle strade.

Teoria del deflusso ininterrotto. Modelli deterministici, modello di Greenberg o General Motor, modelli lineari e modelli quadratici; tecniche di stima della capacità delle sezioni stradali. Il manuale HCM; le rilevazioni di flusso, le indagini di flusso, il trattamento dei dati e gli archivi; le tecniche e le tecnologie del rilevamento.

[6. settimana]

La regolazione delle intersezioni. Le intersezioni e il flusso interrotto.

La geometria delle intersezioni: a raso, a più livelli, a rotatoria, le rampe, le immissioni e le diversioni. *Software* applicativo.

La regolazione delle intersezioni: la regolazione passiva e la regolazione attiva. Principi di regolazione: il *software* applicativo.

La teoria del flusso veicolare interrotto: gli itinerari regolati con sistemi semaforici, il *software* applicativo.

[7. settimana]

Il comportamento dell'utente: la scelta dei percorsi e la scelta dei modi di trasporto. La scelta economica. I modelli di costo e di costo generalizzato, i modelli di opportunità.

La scelta intramodale degli itinerari, e la scelta intermodale. La modellistica di assegnazione: modelli lineari, modelli deterministici, modelli probabilistici. Il modello LOGIT.

Le tecniche previsionali. Le stime e la valutazione delle stime. La ricerca dei dati, la stima delle matrici.

[8. settimana]

La segnaletica stradale: l'efficacia e la visibilità. Il posizionamento, il distanziamento, il dimensionamento, i caratteri, i colori.

La sicurezza e l'incidentalità. L'analisi della sicurezza, la rilevazione degli incidenti, la statistica e la casistica incidentale, il verbale di incidente stradale. L'organizzazione del rilevamento e della archiviazione.

[9. settimana]

La questione ambientale. La normativa. Le emissioni di inquinanti atmosferici e sonori. La modellistica di diffusione, la modellistica di simulazione. Le normative nazionali. La VIA per il traffico e la circolazione.

[10. e 11. settimana]

La valutazione delle politiche sul traffico.

L'analisi C/B. La considerazione delle variabili economiche e territoriali.

L'analisi M/C. I sistemi multipreferenziali e le tecniche di valutazione.

[12. e 13. settimana]

La legislazione e la normativa

Il Codice della strada e l'art.36.

La circolare 2575/1984.

La legislazione ambientale e della fluidificazione.

La questione della sosta e la legge Tognoli per i Programmi Urbani dei Parcheggi.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni sono articolate in tre sezioni principali che fanno riferimento ad argomenti trattati nel corso e richiamano e sviluppano conoscenze e tecniche propedeutiche alla risoluzione dei problemi delle indagini sul traffico e della circolazione. In particolare:

1. Elementi di statistica necessari per la ricerca, l'analisi, l'elaborazione e la validazione dei dati usualmente utilizzati nelle indagini sulla mobilità e sul traffico. Sono previste numerose applicazioni numeriche. [1.-4. settimana]
2. Modellistica di pianificazione con introduzione all'uso di *software* applicativo e modellistica di valutazione delle decisioni e degli investimenti. [4.-8. settimana]
3. Modellistica di regolazione delle intersezioni con sviluppo della intera sequenza operativa completa di rilevamento dati e di progettazione delle fasi di regolazione di intersezioni singole e coordinate mediante *software* applicativo. [9.-13. settimana]

Le esercitazioni prevedono fasi di ricerca dati sul campo e di elaborazione dei dati in laboratorio informatico.

## **BIBLIOGRAFIA**

Testi di riferimento:

Il materiale didattico, testi in fascicoli, copie di *slides* e varie, sarà distribuito nel corso delle lezioni e delle esercitazioni. Sono inoltre disponibili, in fotocopia:

M. Villa, *Tecnica del traffico e della circolazione*.

M. Villa, *Elementi di economia urbana*.

Testo ausiliario:

M. Olivari, *Elementi di teoria e tecnica della circolazione stradale*, Angeli.

## **ESAME**

Le esercitazioni vengono concluse con la predisposizione di un lavoro di squadra che percorre gli argomenti principali del corso con l'utilizzazione di strumenti e tecniche di rilievo ed elaborazione al calcolatore anche a casa.

La valutazione viene effettuata sulla qualità della esercitazione e del lavoro svolto e presentato e sull'esame orale.

## **H6000 TERMOTECNICA**

Anno: 5                      Periodo: 2  
Impegno (ore sett.)      lezioni: 4      esercitazioni: 3      laboratori: 1  
Docente:                    **Antonio Maria BARBERO**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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.

### **REQUISITI**

Nozioni acquisite con la frequenza del corso di *Fisica tecnica, Chimica applicata, Macchine I.*

### **PROGRAMMA**

Descrizione dei principali tipi di generatore di calore: generatori di vapore e loro ausiliari (in particolare pompe di alimentazione, di circolazione, di estrazione del condensatore), generatori di acqua calda, generatori di acqua surriscaldata, generatori di fluidi diatermici caldi, generatori di aria calda, forni, inceneritori. Caratterizzazione termica delle parti dei generatori di calore. Caratteristiche delle fiamme (cenni). Caratteristiche fisico-chimiche dei combustibili. Caratteristiche fisico-chimiche dei prodotti della combustione. Reazioni di combustione (metodi particolari di calcolo). Metodi di calcolo dei rendimenti. Metodi di calcolo dei rendimenti. Metodi di calcolo delle perdite di energia. Influenza delle varie perdite sul rendimento ai vari regimi termici. Richiami di trasmissione del calore applicati ai generatori di calore. Emissione di energia raggiante da fiamme. Dimensionamento termico delle camere di combustione. Dimensionamento termico degli scambiatori a valle della camera di combustione. Verifiche del calcolo termico dei generatori di calore. Metodi semiempirici di calcolo di progettazione termica. Previsioni di funzionamento con il metodo del reattore ben mescolato. Cenni a modelli matematici a una o più dimensioni. Recuperatori di calore: calcolo e descrizione. Cenni a generatori di calore non a combustione. Cenni a impianti di cogenerazione di energia termica e meccanica.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

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

Visita al laboratorio di prove sulla combustione di Fisica tecnica e Impianti nucleari. Visite a stabilimenti del settore (costruzione bruciatori, caldaie, pannelli solari) e a generatori di vapore.

### **ESAME**

Orale.

40231 ANALISI MATEMATICA I

Vedi programma corso impartito a Torino

40232 ANALISI MATEMATICA II

Vedi programma corso impartito a Torino

40234 ANALISI MATEMATICA III (IV)

Vedi programma corso impartito a Torino

L0494 CALCOLO DELLE

Vedi programma corso impartito a Torino

H0510 CALCOLO NUMERICO

Vedi programma corso impartito a Torino

H0620 CHIMICA

Vedi programma corso impartito a Torino

F1901 FISICA GENERALE I

Vedi programma corso impartito a Torino

F1902 FISICA GENERALE II

Vedi programma corso impartito a Torino

H2170 FONDAMENTI DI INFORMATICA (ANNUALE)

Vedi programma corso impartito a Torino

F 3370 MECCANICA RAZIONALE

Vedi programma corso impartito a Torino

## **PROGRAMMI DEGLI INSEGNAMENTI IMPARTITI A MONDOVÌ**

## **H0231 ANALISI MATEMATICA I**

Vedi programma corso impartito a Torino

## **H0232 ANALISI MATEMATICA II**

Vedi programma corso impartito a Torino

## **H0234 ANALISI MATEMATICA III (R)**

Vedi programma corso impartito a Torino

## **L0494 CALCOLO DELLE PROBABILITÀ (R)**

Vedi programma corso impartito a Torino

## **H0510 CALCOLO NUMERICO**

Vedi programma corso impartito a Torino

## **H0620 CHIMICA**

Vedi programma corso impartito a Torino

## **H1901 FISICA GENERALE I**

Vedi programma corso impartito a Torino

## **H1902 FISICA GENERALE II**

Vedi programma corso impartito a Torino

## **H2170 FONDAMENTI DI INFORMATICA (ANNUALE)**

Vedi programma corso impartito a Torino

## **P3370 MECCANICA RAZIONALE**

Vedi programma corso impartito a Torino

## H1791 ELETTROTECNICA I

Anno: 2                      Periodo: 1  
Impegno (ore)              lezioni: 6                      esercitazioni: 2              (ore settimanali)  
Docente:                      **Maurizio REPETTO**

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso comprende la trattazione di fenomeni elettrici e magnetici a bassa frequenza con particolare attenzione all'utilizzo dell'energia elettrica all'interno delle installazioni di tipo civile ed industriale.

### REQUISITI

Analisi Matematica I e II, Fisica generale I e II

### PROGRAMMA

#### *Prima parte: circuiti*

Modello circuitale dei fenomeni elettromagnetici, ipotesi fondamentale del modello circuitale, definizione di componente e classificazione dei componenti ideali, cenni ai componenti reali, leggi dei circuiti.

Teoremi di rete: teorema di sovrapposizione, teoremi dei circuiti equivalenti di Thevenin e di Norton, teorema di Millmann, trasformazioni energetiche nei circuiti e teorema di Tellegen.

Evoluzione dei circuiti nel tempo delle reti lineari tempo invarianti, richiami alla soluzione delle equazioni differenziali a coefficienti costanti, nozione di transitorio e regime, transienti nei circuiti del primo ordine, carica del condensatore e dell'induttore.

Regime sinusoidale, metodo simbolico, impedenza ed ammettenza, diagrammi vettoriali, fenomeno della risonanza ed antirisonanza, potenza nei circuiti in regime sinusoidale, potenza attiva e reattiva, rifasamento, tariffazione, correnti di corto circuito.

Sistema trifase, definizioni, generatori e carichi trifase, collegamenti a stella e triangolo, metodi di soluzione di circuiti trifase equilibrati e non, misura della potenza.

#### *Seconda parte: campi*

Campo di corrente, resistenza, dispersori di terra.

Campo magnetico statico e lentamente variabile, circuiti magnetici, riluttanza ed induttanza, mutua induttanza, energia nei circuiti magnetici lineari e nonlineari, induzione elettromagnetica trasformatorica e mozionale, perdite nel ferro.

#### *Terza parte: macchine elettriche*

Trasformatore monofase, trasformatore ideale e circuito equivalente del trasformatore reale, prova a vuoto ed in corto circuito, determinazione dei parametri di macchina, parallelo di trasformatori, trasformatori trifase, gruppo orario.

Motore ad induzione, principio di funzionamento, caratteristica di coppia, problemi di avviamento.

Macchina sincrona: principio di funzionamento, alternatore, parallelo su rete.

#### *Quarta Parte: impianti elettrici*

Quadro normativo: enti normatori e norme di riferimento per gli impianti ad uso civile.

Classificazione utenze elettriche, tipologie di impianto, carichi convenzionali.

Dimensionamento condutture, tipologie di posa, dimensionamento termico.

Protezioni negli impianti: protezioni meccaniche, protezioni contro le sovracorrenti, protezioni contro gli incendi, protezioni contro le sovratensioni di origine atmosferica.

Sicurezza elettrica delle persone: effetti della corrente elettrica sul corpo umano, contatti diretti ed indiretti, impianti di terra, stato del neutro, interruttore differenziale, sistemi a tensione ridotta.

Impianti elettrici in luoghi speciali.

## BIBLIOGRAFIA

F. Ciampolini "Fondamenti di Elettrotecnica" Ed. Pitagora, Bologna.

## ESAME

L'esame è composto da una prova scritta e da un colloquio. Il superamento della prova scritta è vincolante per l'ammissione all'orale. La prova scritta comprende tre esercizi sulle parti del corso per la cui soluzione è possibile la consultazione di testi ed appunti. La presa visione del testo di esame comporta la registrazione del verbale di esame. Il risultato della prova scritta è valido entro la prima tornata di esami orali.

## BIBLIOGRAFIA

- Testo di riferimento
- Giaco. F. Valsecchi, "Lezioni di Algebra Lineare e Geometria", Ed. Pitagora, Bologna.
- Vol. I "Algebra Lineare"
- Vol. II "Geometria Analitica e Differenziale", Ed. Pitagora, Bologna.
- Testo consigliato
- A. Senni, "Lezioni di Geometria", Ed. Pitagora, Bologna.
- Libri di esercizi adatti al Corso
- Giaco. F. Valsecchi, "Esercizi di Algebra Lineare, Geometria Analitica e Differenziale", Ed. Pitagora, Bologna.

**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si articola in 6 ore settimanali di lezione e 4 ore settimanali di esercitazione di cui 2 ore a corso riunito, relative a problemi generali tecniche standard di soluzione, eventuali complementi, 2 ore a squadre separate dedicate a problemi di tipo specifico e applicazioni.

**PROGRAMMA**

- Numeri complessivi: operazioni, rappresentazione trigonometrica, radici  $n$ -esime.
- Polinomi ed equazioni algebriche in campo reale e complesso: radici, decomposizione di polinomi in fattori irriducibili.
- Vettori del piano e dello spazio: operazioni, componenti, prodotto scalare, vettoriale, misto.
- Spazi vettoriali: proprietà elementari, sottospazi, somme intersezioni di sottospazi, dipendenza lineare, insiemi di generatori, basi, dimensione.
- Matrici: operazioni, invertibilità, rango, determinanti.
- Sistemi lineari: Teorema di Rouchè-Capelli, metodi di risoluzione, sistemi ad incognite vettoriali, matrice inversa.
- Applicazioni lineari: definizioni e proprietà elementari, nucleo e immagine, suriettività, iniettività, applicazione inversa, applicazioni lineari e matrici, matrici simili, cambiamenti di base.
- Autovalori e autovettori: polinomio caratteristico, autospazi, endomorfismi semplici, matrici diagonalizzabili.
- Forma canonica di Jordan: teorema di Cayley-Hamilton e polinomio minimo, endomorfismi e matrici nilpotenti, matrici diagonali a blocchi autospazi generalizzati, forma canonica di Jordan.
- Spazi con prodotto scalare: basi ortonormali, endomorfismi autoaggiunti, matrici simmetriche reali e forme quadratiche.
- Coordinate cartesiane nel piano e nello spazio. Cambiamenti di riferimento cartesiani. Coordinate polari nel piano.
- Rette e circonferenze nel piano.
- Coniche in forma canonica e generale.
- Rette e piani nello spazio.
- Sfere e circonferenze.
- Quadriche (in forma canonica)
- Superfici nello spazio: coni, cilindri, superfici di rotazione
- Curve nello spazio e curve piane
- Curve regolari e biregolari: versori tangente, normale, binormale, piano osculatore, elica circolare

**BIBLIOGRAFIA**

Testo di riferimento:

Greco, P. Valabrega "Lezioni di Algebra Lineare e Geometria",

Vol. I "Algebra lineare",

Vol. II "Geometria Analitica e Differenziale", Levrotto & Bella, Torino

Testo consigliato:

A. Sanini "Lezioni di Geometria", Levrotto & Bella, Torino

Libri di esercizi adatti al Corso:

S. Greco, P. Valabrega "Esercizi risolti di Algebra Lineare, Geometria Analitica e Differenziale",

Levrotto & Bella, Torino

A. Sanini "Esercizi di Geometria", Levrotto & Bella, Torino  
Chiarli, S. Greco, P. Valabrega, "100 Esercizi di Algebra Lineare", Levrotto & Bella, Torino  
N. Chiarli, S. Greco, P. Valabrega, "Esercizi di Geometria analitica piana e numeri complessi"  
Levrotto & Bella  
Chiarli, S. Greco, P. Valabrega, "100 Esercizi di Geometria spaziale" Levrotto & Bella, Torino  
G. Tedeschi, "Test di Geometria risolti", Esculapio, Bologna  
G. Cervelli, A. Di Lello, "Geometria: Esercizi risolti", CLUT, Torino

## **ESAME**

L'esame è costituito da una prova scritta, consistente nella risoluzione di esercizi, e da una prova orale.

Possono accedere all'orale gli studenti che nella prova scritta abbiano riportato una votazione non inferiore a 15/30. In sede di prova orale non è esclusa la richiesta di svolgimento di esercizi, ad eventuale completamento dello scritto. Al termine di ciascuna prova scritta il docente eseguirà alla lavagna lo svolgimento del compito, dopodiché sarà possibile ritirare l'elaborato consegnato, ottenendo la restituzione dello statino.

Nel corso del semestre verranno effettuate due prove di esonero (test a risposta multipla), e precisamente: una prima prova alla fine di aprile riguardante i numeri complessivi e l'algebra lineare, e una seconda, alla fine del corso, riguardante la rimanente parte del programma. Gli studenti che riporteranno in ciascuna prova una votazione non inferiore a 14/30 potranno non sostenere la prova scritta tradizionale e presentarsi direttamente all'orale. Si potrà usufruire di tale possibilità una volta negli appelli di giugno-luglio e una volta negli appelli di settembre.

Per poter sostenere l'esame è necessaria una prenotazione, che verrà effettuata consegnando lo statino alla Segreteria di Mondovì.

L'esame si intende iniziato con la consegna della prova scritta (o con l'inizio della prova, per gli studenti che abbiano superato le prove di esonero).

Per quanto non precisato, fanno fede le norme generali della Facoltà di Ingegneria.



## **UM016      APPLICAZIONI FISICHE DELLA TEORIA DEI GRUPPI (IL CONCETTO DI SIMMETRIA DALL'ANTICHITÀ AD OGGI) (R)**

Periodo : 2

Impegno (ore)                      lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:                              **Tullio REGGE**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso è incentrato sul concetto di simmetria. L'idea non è assolutamente quella di fare un corso monografico e astratto basato su formule, ma piuttosto quello di seguire le orme di Hermann Weyl, un grande matematico che ha scritto un testo classico sull'argomento di carattere interdisciplinare e che investe anche l'analisi di opere d'arte e di architettura. Sono estremamente numerose le strutture che hanno simmetrie nascoste, usualmente non riconosciute come tali, che durante lo svolgimento del corso saranno poste in luce.

### **PROGRAMMA**

Cenni storici partendo dal Timeo attraverso Galois e l'inizio della teoria dei gruppi.

Concetto di gruppo.

Simmetrie discrete e simmetrie continue.

Ruolo delle simmetrie nella Fisica sia classica sia quantistica.

Crystalli.

Simmetrie nella relatività ristretta.

Simmetria nelle particelle elementari. Materia e antimateria.

Valore estetico della simmetria.

Simmetria in biologia.

### **ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni prevedono l'approfondimento di temi specifici proposti dal docente e applicazioni sul riconoscimento di simmetrie nascoste.

### **BIBLIOGRAFIA**

D. Hilbert e Vossen-Cohen, *Geometria e intuizione*, Bollati Boringhieri.

H. Weyl, *Simmetria*, Bollati Boringhieri

### **ESAME**

La valutazione finale sarà basata sulle esercitazioni svolte e su una prova pratica scritta.

## UM017 ESTETICA (R)

Periodo: 2

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Roberto SALIZZONI**

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di illustrare le principali posizioni espresse nel corso del Novecento dalla filosofia e dalle scienze umane sui temi dell'arte e della bellezza. Estetica filosofica, antropologia, sociologia e psicologia, in un rapporto di dialogo e di reciproco scambio, elaborano teorie ed analisi dei fatti artistici e dei fenomeni della bellezza. E' possibile percorrere, seguendo i filii tematici dell'estetica, le aree più interessanti del discorso filosofico ed umanistico del nostro secolo. Il corso propone alcuni di questi percorsi, mirando a chiarire le diverse prospettive metodologiche, a mettere a punto un lessico filosofico essenziale, a introdurre gli autori più significativi.

### PROGRAMMA

Arte, linguaggio e comunicazione ( L'ecologia della mente secondo Bateson; i diversi modi di concepire l'inconscio da Freud alla "pragmatica della comunicazione"; stile, grazia e bellezza come condizioni della comunicazione).

Arte, tecnica, natura (Il rapporto tra arte, mito e scienza secondo C. Lévi-Strauss; l'arte come risposta possibile allo sviluppo della tecnica secondo W. Benjamin; tecnica e natura in M. Heidegger).

Creazione e ricezione dell'opera (R. Jauss e il piacere estetico; il problema dell'autore secondo l'ermeneutica).

Razionale e irrazionale nell'avanguardia ( T. Adorno sull'arte moderna asservita; le interpretazioni della pittura astratta come storia esemplare).

Paesaggio e collezione (Ambiente naturale e artificiale: un confronto tra ermeneutica e antropologia. J. Clifford, S. Stewart, H.G. Gadamer).

### BIBLIOGRAFIA

W. Tatarkiewicz, *Storia di sei Idee*, Palermo, Aesthetica

c. W. Benjamin, *L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica*, Torino, Einaudi.

C. Lévi-Strauss, *Il pensiero selvaggio*, Milano, il Saggiatore

G. Bateson, *Verso un'ecologia della mente*, Milano, Adelphi

H.R. Jauss, *Apologia dell'esperienza estetica*, Torino, Einaudi

AA. VV., *The spiritual in Art: Abstract Painting 1890-1985*, New York, Abbeville

S. Stewart, *On Longing*, Londra, Duke Univ. Press

J. Clifford, *I frutti puri impazziscono*, Torino, Bollati

T. W. Adorno, *Teoria estetica*, Torino, Einaudi

M. Heidegger, *Saggi e discorsi*, Milano, Mursia

Durante il corso saranno introdotte e commentate parti determinate delle opere indicate.

### ESAME

Sono previste prove scritte di verifica durante il corso e come prova finale.

## **UM018      FILOSOFIA DELLA SCIENZA (MENTE, CERVELLO E COMPUTER) (R)**

Periodo: 2

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Alberto VOLTOLINI**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si incentrerà su alcuni dei principali temi di filosofia della mente che sono all'ordine del giorno del dibattito contemporaneo: la natura degli stati mentali, il rapporto mente - corpo (cervello) e il problema della loro interazione, la questione dei contenuti mentali e quella dell'intenzionalità, cioè del fatto che gli stati mentali vertano su cose ed eventi del mondo. Attraverso l'analisi di questi temi, si cercherà di illustrare le due fondamentali opzioni filosofiche che si fronteggiano a proposito della mente: la concezione riduzionista, per cui tutto ciò che è mentale rientra nell'ordine naturale del mondo e può dunque in linea di principio essere studiato dalle scienze naturali, e quella anti-riduzionista, per cui la mente ha certe proprietà speciali, per cui non può essere completamente compresa dalla scienza. All'interno di questo quadro, una specifica attenzione verrà dedicata ad un problema che il vertiginoso sviluppo delle scienze cognitive da un lato e dell'intelligenza artificiale dall'altro rende sempre più attuale, ossia se il paragone tra la mente e il computer fornisca la chiave per comprendere che cos'è davvero la mente o sia soltanto uno strumento utile per capire il suo funzionamento.

### **PROGRAMMA**

Il dualismo cartesiano: mente e corpo come sostanze separate.

Il rifiuto della mente: il programma comportamentista. Limiti del programma.

Il materialismo radicale e quello moderato: varie teorie dell'identità tra stati mentali e stati cerebrali.

Il programma funzionalista e l'idea di 'realizzabilità multipla' di uno stato mentale.

Il funzionalismo computazionale: la mente come un computer. Macchine di Turing, test di Turing; le obiezioni (l'argomento di Searle della 'stanza cinese').

Il rapporto mente-corpo: sono gli stati mentali causalmente efficaci?

Il problema del contenuto mentale. L'importanza del contenuto per l'individuazione di uno stato mentale; irriducibilità o meno della proprietà di avere un contenuto per uno stato mentale (questione della 'naturalizzazione dell'intenzionalità').

### **BIBLIOGRAFIA**

Testo base:

Di Francesco, M., *Introduzione alla filosofia della mente*, La Nuova Italia Scientifica, Roma 1996.

Testi di consultazione:

M. Salucci, *Mente/Corpo*, La Nuova Italia, Firenze 1997.

R. Lanfredini, *Intenzionalità*, La Nuova Italia, Firenze 1998.

### **ESAME**

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta su un tema trattato nel corso.

## UM019 METODOLOGIA DELLE SCIENZE NATURALI A (IL METODO SCIENTIFICO) (R)

Periodo : 1  
Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Gabriele LOLLI**

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Un'introduzione ai temi attuali trattati dalla filosofia della scienza dopo la reazione al neopositivismo - scienza normale, rivoluzioni, progresso, incommensurabilità, costruzione sociale dei concetti, relativismo, post-modernismo - con letture commentate da Hanson, Wittgenstein, Kuhn, Feyerabend, Bloor, Latour.

### PROGRAMMA

1° L'eredità del neopositivismo - Hanson e i "fatti carichi di teoria" - Kuhn, scienza normale e rivoluzioni - Feyerabend, contro il metodo - Bloor e la sociologia della scienza - La discussione attuale tra realisti e relativisti.

### BIBLIOGRAFIA

R. N. Giere, *Understanding Scientific Reasoning*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1985.

G. Lolli, *Befte, scienziati e stregoni*, Il Mulino, Bologna, 1998.

E. Nagel, *La struttura della scienza*, Feltrinelli, Milano, 1985.

oltre a letture di testi originali.

### ESAME

L'esame richiederà la presentazione di una relazione scritta su un tema o autore trattati nel corso.

## 020 METODOLOGIA DELLE SCIENZE NATURALI B (IL METODO SCIENTIFICO) (R)

do didattico: 1  
no (ore)  
ti: 5  
nte:

lezione: 30 (6 ore settimanali)

**Gabriele LOLLI**

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

scuteranno i concetti fondamentali del metodo scientifico. Attraverso alcune parole-chiave ne "osservazione", "esperimento", "prova", "causa" - mettendone in evidenza le diverse applicazioni nei diversi periodi storici e nelle diverse aree di ricerca scientifica. Ad esempio per "esperimento" si potrà discutere il passaggio dalla osservazione naturale nella scienza antica, alla creazione di situazioni artificiali nella scienza sperimentale del Seicento, alle imprese tecnologiche della big-science odierna.

### QUISITI

modulo Metodologia delle Scienze Naturali (A).

### PROGRAMMA

Conoscimento scientifico - Struttura logica delle teorie - Osservazioni, ipotesi, teorie, modelli, dati, cause, esperimenti, esperimenti mentali.

### BIBLIOGRAFIA

- J. Giere, *Understanding Scientific Reasoning*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1985.  
G. Lolli, *Befte, scienziati e stregoni*, Il Mulino, Bologna, 1998.  
K. Popper, *La struttura della scienza*, Feltrinelli, Milano, 1985.  
e a lettura di testi originali.

### VALUTAZIONE

La valutazione comprenderà la presentazione di una relazione scritta su un tema o autore trattati nel corso.

## **UM021      PROPEDEUTICA FILOSOFICA (INTRODUZIONE AL PENSIERO CONTEMPORANEO) (R)**

Periodo: 1

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Diego MARCONI**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone d'illustrare, ad un livello elementare, concetti, metodi, ed esempi della ricerca filosofica attuale, in vari campi (metafisica, filosofia del linguaggio, filosofia della mente, filosofia morale). Sarà sottolineata la struttura argomentativa del discorso filosofico, cioè si cercherà di mettere in evidenza in che modo e con quali argomenti sono sostenute le diverse tesi filosofiche di volta in volta esaminate.

### **PROGRAMMA**

Filosofia (che cos'è e perché occuparsene).

L'esistenza di Dio (argomenti per l'esistenza di Dio; Dio e il male).

Giusto e sbagliato in senso morale (ci sono argomenti per l'altruismo? I principi e i valori morali sono universali?).

Libero arbitrio e determinismo.

Morte (c'è vita dopo la morte? La morte è buona, cattiva o indifferente? La morte degli altri e la propria morte).

Conoscenza (abbiamo vera conoscenza del mondo esterno, o hanno ragione gli scettici?).

Scienza (che cos'è il metodo scientifico? che cosa distingue la scienza dalla pseudoscienza?).

Arte (che cos'è? che differenza c'è tra un'opera d'arte e un oggetto non artistico?).

### **BIBLIOGRAFIA**

N. Warburton, *Il primo libro di filosofia*, Einaudi, Torino 1999.

T. Nagel, *Una brevissima introduzione alla filosofia*, Il Saggiatore, Milano 1989.

### **ESAME**

L'esame prevederà la presentazione di una relazione scritta su un testo filosofico concordato col docente, e un compito scritto finale.

## UM022    **SOCIOLOGIA DEL LAVORO (R)**

Periodo: 1

30 ore di lezione (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Alberto BALDISSERA**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Scopo del corso è esaminare modi e forme di utilizzazione economica e sociale delle innovazioni tecnologiche. Particolare attenzione verrà dedicata all'analisi delle relazioni esistenti tra innovazioni tecnologiche ed organizzative nelle imprese economiche e in alcuni sistemi tecnologici complessi.

L'idea di fondo è che la diffusione delle innovazioni tecnologiche richiede adattamenti e innovazioni radicali nelle strutture organizzative delle imprese economiche, oltre a notevoli investimenti in istruzione e formazione professionale. A loro volta, le innovazioni organizzative, dal mutamento dei sistemi manageriali di controllo e dell'organizzazione del lavoro sino alle modifiche delle interfacce uomo-macchina, adattano le tecnologie alle esigenze produttive e del lavoro umano e contribuiscono a modificarle in misura rilevante.

### **PROGRAMMA**

Alcuni temi e problemi fondamentali della sociologia dell'azione sociale e della metodologia della ricerca sociologica.

Le relazioni tra processi di globalizzazione, innovazioni tecnologiche e occupazione, nei paesi europei e negli USA. Particolare attenzione verrà dedicata all'analisi delle politiche (riguardanti l'istruzione e la formazione professionale, il mercato del lavoro, le politiche pubbliche di welfare, l'innovazione di prodotti e di processi) messe in atto in questi paesi al fine di stimolare lo sviluppo economico e l'occupazione.

Le innovazioni organizzative (come il re-engineering o i programmi di total quality management) che accompagnano, stimolano e modificano l'introduzione delle tecnologie dell'informazione nelle organizzazioni industriali e dei servizi.

Le patologie dei sistemi tecnologici complessi, illustrate negli ultimi decenni da una serie di incidenti maggiori, da Seveso a Three Mile Island, Chernobil, Bophal, etc. Verranno in particolare definiti i concetti di interfaccia e di interazione uomo-macchina, di logica della progettazione e logica di utilizzazione dei sistemi tecnologici complessi, di organizzazione affidabile ed esaminate alcune teorie organizzative degli incidenti tecnologici.

### **BIBLIOGRAFIA**

A. Baldissera, *La tecnologia difficile*, Tirrena Stampatori, Torino, 1992.

A. M. Chiesi, *Lavori e professioni*, Roma, NIS, 1997.

D. S. Landes., *Prometeo liberato. Trasformazioni tecnologiche e sviluppo industriale nell'Europa occidentale dal 1750 ai giorni nostri*, Torino, Einaudi, 1978.

### **ESAME**

L'esame prevederà, a fianco della prova orale, la presentazione di una relazione scritta. Gli studenti saranno invitati a scrivere e presentare studi riguardanti uno o più incidenti tecnologici maggiori. In questo caso è indispensabile una buona conoscenza della lingua inglese.

## **UM023      SOCIOLOGIA DELLE COMUNICAZIONI DI MASSA A (R)**

Periodo : 1

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Chiara OTTAVIANO**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso mira a fornire strumenti di conoscenza utili per orientarsi all'interno della società contemporanea, oggi in profonda trasformazione anche rispetto alle innovazioni in corso nei modi e sistemi di comunicazioni. Non si tratta però solo di capire cosa ha implicato in tempi recenti la cosiddetta rivoluzione digitale, ma di comprendere come, sin dalle sue origini, i modi di produzione delle società industriali siano stati profondamente condizionati dai modi di comunicazione e trasmissione delle informazioni. Il corso avrà pertanto carattere interdisciplinare con punti di vista sociologici, economici, storici, culturali. Un'attenzione particolare sarà dedicata alle professioni e alle istituzioni coinvolte, nell'industria e nel mercato, ma anche al ruolo degli utenti finali, i consumatori, che possono o meno adottare le opportunità tecnologiche offerte. L'analisi di alcuni casi relativi all'introduzione di ormai "vecchi" mezzi di comunicazione sarà di ausilio per un approccio critico alla lettura di alcune ipotesi, oggi diffuse, intorno agli effetti e alle conseguenze delle cosiddette nuove tecnologie della comunicazione.

La stessa definizione di comunicazione di massa, coniata negli anni trenta, appare oggi non del tutto adeguata, giacché non comprende le innovazioni, tecniche e sociali, introdotte dalla telematica e dai mezzi che consentono interattività (in particolare Internet).

### **ESERCITAZIONI**

Sono previste esercitazioni, con specifica attività di ricerca degli studenti, volte ad una riflessione originale e documentata su Internet.

### **PROGRAMMA**

La cosiddetta "società dell'informazione": definizioni e quadro teorico.

Le tesi di J. Beniger sulla "rivoluzione del controllo", in riferimento all'origine della società dell'informazione.

Cenni sulla storia e l'evoluzione dei mezzi e dei modi di comunicazione.

Il tema della negoziazione sociale a proposito dell'introduzione di vecchie e nuove tecnologie della comunicazione: analisi di casi

### **BIBLIOGRAFIA**

C.Ottaviano, *Mezzi per comunicare. Storia, società e affari dal telegrafo al modem*, Torino, Paravia, 1997.

J. Meyrowitz, *Oltre il senso del luogo. L'impatto dei media elettronici nel comportamento sociale*, Bologna, Baskerville 1993.

Nel corso delle lezioni saranno forniti materiali in fotocopia e indicazioni di estratti da altri volumi la cui conoscenza è essenziale per la preparazione all'esame (ca. 250pp), nonché un elenco dei saggi entro il quale il candidato sceglierà un secondo volume da presentare all'esame.

### **ESAME**

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

## **UM024      SOCIOLOGIA DELLE COMUNICAZIONI DI MASSA B (R)**

Periodo : 1

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Chiara OTTAVIANO**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso è da intendersi come un approfondimento del modulo I.

Al centro dell'attenzione saranno i mezzi di comunicazione di massa, e in particolare la radio, il cinema e la televisione, "agenti di socializzazione" fra i più significativi nella società contemporanea.

L'attenzione sarà rivolta alla tradizione degli studi sociologici sul tema, ma anche agli aspetti relativi al carattere industriale e agli apparati del broadcasting, alle professioni coinvolte, agli aspetti legislativi.

Specifiche esercitazioni saranno dedicate all'analisi del linguaggio audiovisivo con esempi tratti da fonti d'archivio come i cinegiornali, e da fonti coeve, come i telegiornali.

### **REQUISITI**

Aver superato l'esame del Modulo di Sociologia delle comunicazioni di massa A.

### **ESERCITAZIONI**

Sono previste esercitazioni, con specifica attività di ricerca degli studenti, volte ad una riflessione originale e documentata su Internet.

### **PROGRAMMA**

La comunicazione di massa: definizioni e quadro teorico.

Cinema e televisione: la riflessione del pensiero sociologico, tesi a confronto.

Il cinema e la televisione: industria, apparati e legislazione nel caso italiano.

Il linguaggio audiovisivo: esercizi con il televisore.

### **BIBLIOGRAFIA**

C.Ottaviano, *Mezzi per comunicare. Storia, società e affari dal telegrafo al modem*, Torino, Paravia, 1997.

J. Meyrowitz, *Oltre il senso del luogo. L'impatto dei media elettronici nel comportamento sociale*, Bologna, Baskerville 1993.

Nel corso delle lezioni saranno forniti materiali in fotocopia e indicazioni di estratti da altri volumi la cui conoscenza è essenziale per la preparazione all'esame (ca. 250pp), nonché un elenco dei saggi entro il quale il candidato sceglierà un secondo volume da presentare all'esame.

### **ESAME**

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

## UM025 STORIA CONTEMPORANEA (R)

Periodo: 2

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

Gian Carlo JOCTEAU

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso intende fornire agli studenti alcune categorie interpretative generali ed elementi di inquadramento cronologico intorno alle principali trasformazioni economiche, sociali e politiche avvenute dalla seconda metà del Settecento ai giorni nostri.

### PROGRAMMA

La storia contemporanea e le sue periodizzazioni.

Lo sviluppo economico moderno.

Il progresso tecnico.

La rivoluzione industriale inglese e le vie di trasmissione dell'industrializzazione.

Le vie nazionali all'industrializzazione.

La crisi delle società di *ancien régime*.

L'andamento demografico.

Classi, ceti e gruppi sociali.

Lo stato moderno.

Gli stati liberali.

Democrazia, socialismo e totalitarismo.

Gli equilibri geopolitici ed i loro mutamenti.

### BIBLIOGRAFIA

P. Macry, *La società contemporanea. Un'introduzione storica*, Il Mulino, Bologna, 1995.

S. Pollard, *La conquista pacifica. L'industrializzazione in Europa dal 1760 al 1970*, Il Mulino, Bologna, 1989.

### ESAME

La valutazione finale si baserà su una relazione scritta e su una prova orale.

## UM026 STORIA DELLA FILOSOFIA CONTEMPORANEA (R)

Periodo: 2

Impegno (ore) lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente: **Gianni VATTIMO**

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Breve storia della filosofia novecentesca centrato sul tema del rapporto tra "humanities" e mondo tecnico-scientifico: il filo conduttore è dunque ciò che la filosofia novecentesca (e non solo la filosofia in senso stretto: anche autori e testi di campi affini, come: letteratura, sociologia, tecnologia...) ha pensato circa la configurazione principalmente tecno-scientifica del mondo contemporaneo: posizioni polemiche, spesso, ma anche teorie che guardano alla scienza sperimentale come modello di conoscere "vero", e alla tecnologia come a luogo di sperimentazione per una nuova forma di umanità. Il corso non privilegia (anche se non ignora) le riflessioni filosofiche sulla scienza, non è cioè un corso di epistemologia; e anzi ritiene indispensabile allargare la prospettiva sulla storia delle idee nel senso più generale della parola.

### PROGRAMMA

I contenuti dei due corsi, strettamente integrati tra loro, prevedono lo sviluppo della storia dei principali movimenti filosofici del Novecento centrata sul rapporto esistenza-tecnica. In particolare si approfondiranno i seguenti temi:

Lo spirito dell'avanguardia: E. Bloch e l'espressionismo

Tempo vissuto e libertà in Bergson

Esistenzialismo e autenticità

La scuola del sospetto: Nietzsche, Freud, Marx

La scienza come modello: Wittgenstein, Popper

La scuola di Francoforte e la critica della razionalizzazione

Nichilismo: Sartre, Heidegger, Pareyson

Dalla linguistica all'antropologia e dall'antropologia alla linguistica: Lévi Strauss, Bateson, la scuola di Palo Alto e la pragmatica della comunicazione.

Postmoderno e narratività: Lyotard e P. Ricoeur

Le grandi svolte dell'etica

Il dialogo, la virtù, la comunità

Filosofia della religione, il problema del sacro

### BIBLIOGRAFIA

G. Vattimo, *Tecnica ed esistenza*, Paravia, Torino, 1998.

AA. VV., *Dizionario di filosofia e scienze umane*, Garzanti.

Durante il corso sarà fornito dal docente ulteriore materiale didattico.

### ESAME

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta.

## UM027 STORIA DELLA TECNICA A (MACCHINE E SISTEMI INDUSTRIALI) (R)

Periodo: 1

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti:5

Docente:

Vittorio MARCHIS

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso vuole fornire agli studenti la capacità di inquadrare gli oggetti e i sistemi tecnici nella loro prospettiva storica. A tal fine il corso prende l'avvio da alcune fondamentali premesse sul concetto di storia, sul ruolo e sulle finalità della ricerca storica, e specificamente sul significato della storia della tecnologia. In parallelo vengono presi in esame i momenti salienti della storia dell'economia e del pensiero scientifico. Nella seconda parte del corso sono analizzati, con particolare attenzione al XX secolo, i sistemi tecnici più significativi, e i loro contesti sociali ed economici.

### PROGRAMMA

*La storia come scienza.* Le scritture come fondamento della storia: il documento. La ricerca storica. I temi e le idee della storia. Cronologia e storia. La storia e "le storie".

*La "scienza nuova" e il passaggio "dal mondo del pressappoco all'universo della precisione"* (A.Koyré). La nascita della metallurgia nel '500; la "meccanica" da Guidobaldo del Monte a Galilei a Newton; la nascita delle Accademie e delle istituzioni scientifiche. Il macchinismo e il mito del progresso. Il Settecento e la coscienza della tecnologia. L'Illuminismo e le Enciclopedie.

*La Rivoluzione industriale.* L'industria dei metalli e gli arsenali. Il vapore. L'istruzione tecnica. L'Ottocento e il trionfo delle macchine.

*La grande industria:* Il macchinismo e la diffusione del sistema di fabbrica: Inghilterra, Francia, Germania, Italia. La nascita dell'elettricità. I sistemi tecnici: il telegrafo; le ferrovie; l'industria chimica. I politecnici e le scuole di ingegneria. La diffusione del sapere tecnico: le Esposizioni industriali; i brevetti. L'ottimismo "fin-de-siècle". Le crisi e le speranze del XX secolo. Le costruzioni in ferro e in cemento armato.

*Gli scenari del XX secolo:* La nascita dell'aeronautica. Il sistema industriale e il modello tayloristico. I grandi sistemi tecnici: elettricità, telecomunicazioni, trasporti. I limiti dello sviluppo. Le rivoluzioni informatiche. La Big Science e i Large Systems.

### ESERCITAZIONE

Durante il corso, gli studenti affronteranno la lettura critica di almeno un saggio significativo scelto da un elenco di titoli proposti dal docente. Su tale lettura e sui suoi approfondimenti verterà la relazione scritta che dovrà essere preparata per la valutazione finale.

### BIBLIOGRAFIA

- G. Anders, *L'uomo è antiquato. La terza rivoluzione industriale*, (Bollati Boringhieri), Torino 1992.  
J. R. Beniger, *Le origini della società dell'informazione. La rivoluzione del controllo*, (Utet Libreria), Torino 1995.  
A.D. Chandler jr., *Dimensione e diversificazione e le dinamiche del capitalismo industriale*, (Il Mulino), Bologna 1994.  
D. Harvey, *La crisi della modernità*, (Il Saggiatore), Milano 1993.  
V. Marchis, *Storia delle macchine*, (Ed. Laterza), Roma-Bari 1994.  
V. Marchis (a cura di), *Storia delle scienze vol. V. Conoscenze scientifiche e trasferimento tecnologico*, (Einaudi), Torino 1995.

M. McLuhan, *Gli strumenti del comunicare*, (Il Saggiatore), Milano 1997.

M. Nacci, *La crisi del progresso. Saggio di storia delle idee 1895-1935*, (Guerini e Associati), Milano 1994.

D. Noble, *La questione tecnologica*, (Bollati Boringhieri), Torino 1993.

N. Rosenberg, *Dentro la scatola nera*, (Il Mulino), Bologna 1991.

## ESAME

Per sostenere l'esame è richiesta la presentazione di una relazione scritta sull'approfondimento scelto in accordo con il docente. Detta relazione sarà discussa in sede di accertamento nell'esame orale finale.

- M. McLuhan, *Gli strumenti del comunicare*, (Il Saggiatore), Milano 1997.  
M. Nacci, *La crisi del progresso. Saggio di storia delle idee 1895-1935*, (Guerini e Associati), Milano 1994.  
D. Noble, *La questione tecnologica*, (Bollati Boringhieri), Torino 1993.  
N. Rosenberg, *Dentro la scatola nera*, (Il Mulino), Bologna 1991.

## ESAME

Per sostenere l'esame è richiesta la presentazione di una relazione scritta sull'approfondimento scelto in accordo con il docente. Detta relazione sarà discussa in sede di accertamento nell'esame orale finale.

## UM028      **STORIA DELLA TECNICA B (SOCIETA' ED ECONOMIA) (R)**

Periodo: 1

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Vittorio MARCHIS**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso vuole fornire agli studenti la capacità di inquadrare gli oggetti e i sistemi tecnici nella loro prospettiva storica. A tal fine il corso prende l'avvio da alcune fondamentali premesse sul concetto di storia, sul ruolo e sulle finalità della ricerca storica, e specificamente sul significato della storia della tecnologia. In parallelo vengono presi in esame i momenti salienti della storia dell'economia e del pensiero scientifico. Nella seconda parte del corso sono analizzati, con particolare attenzione al XX secolo, i sistemi tecnici più significativi, e i loro contesti sociali ed economici.

### **REQUISITI**

Modulo di Storia della Tecnica (A)

### **PROGRAMMA**

*La storia della tecnica.* Una storia di contesti socioeconomici. La rivoluzione agricola e la rivoluzione industriale.

*La storia della scienza e la storia del pensiero scientifico.* I grandi temi del pensiero scientifico moderno in relazione alla società industriale. Il ruolo della macchina.

*La storia dell'economia e del pensiero economico.* I contesti economici nella società industriale. Le interpretazioni dei fenomeni economici. (A.Smith, D.Ricardo, K.Marx, J.Schumpeter, J.M.Keynes, G.Friedman, N.Rosenberg).

*La macchina tra utopie e realtà.* Le utopie tecnologiche, l'idea di progresso e lo sviluppo della società industriale.

### **ESERCITAZIONE**

Durante il corso, gli studenti affronteranno la lettura critica di almeno un saggio significativo scelto da un elenco di titoli proposti dal docente. Su tale lettura e sui suoi approfondimenti verterà la relazione scritta che dovrà essere preparata per la valutazione finale.

### **BIBLIOGRAFIA**

G. Anders, *L'uomo è antiquato. La terza rivoluzione industriale*, (Bollati Boringhieri), Torino 1992.

J. R. Beniger, *Le origini della società dell'informazione. La rivoluzione del controllo*, (Utet Libreria), Torino 1995.

A.D. Chandler jr., *Dimensione e diversificazione. Le dinamiche del capitalismo industriale*, (Il Mulino), Bologna 1994.

D. Harvey, *La crisi della modernità*, (Il Saggiatore), Milano 1993.

V. Marchis, *Storia delle macchine*, (Ed. Laterza), Roma-Bari 1994.

V. Marchis (a cura di), *Storia delle scienze vol.V (Conoscenze scientifiche e trasferimento tecnologico)*, (Einaudi), Torino 1995.

M. McLuhan, *Gli strumenti del comunicare*, (Il Saggiatore), Milano 1997.

M. Nacci, *La crisi del progresso. Saggio di storia delle idee 1895-1935*, (Guerini e Associati), Milano 1994.

D. Noble, *La questione tecnologica*, (Bollati Boringhieri), Torino 1993.  
 N. Rosenberg, *Dentro la scatola nera*, (Il Mulino), Bologna 1991.

## ESAME

Per sostenere l'esame è richiesta la presentazione di una relazione scritta sull'approfondimento scelto in accordo con il docente. Detta relazione sarà discussa in sede di accertamento nell'esame orale finale.

|       |                                      |     |
|-------|--------------------------------------|-----|
| 11000 | Introduzione ai sistemi di controllo | 36  |
| 11001 | Controllo a PID                      | 37  |
| 11002 | Controllo adattivo                   | 38  |
| 11003 | Controllo fuzzy                      | 39  |
| 11004 | Controllo predittivo                 | 40  |
| 11005 | Controllo robusto                    | 41  |
| 11006 | Controllo adattivo                   | 42  |
| 11007 | Controllo adattivo                   | 43  |
| 11008 | Controllo adattivo                   | 44  |
| 11009 | Controllo adattivo                   | 45  |
| 11010 | Controllo adattivo                   | 46  |
| 11011 | Controllo adattivo                   | 47  |
| 11012 | Controllo adattivo                   | 48  |
| 11013 | Controllo adattivo                   | 49  |
| 11014 | Controllo adattivo                   | 50  |
| 11015 | Controllo adattivo                   | 51  |
| 11016 | Controllo adattivo                   | 52  |
| 11017 | Controllo adattivo                   | 53  |
| 11018 | Controllo adattivo                   | 54  |
| 11019 | Controllo adattivo                   | 55  |
| 11020 | Controllo adattivo                   | 56  |
| 11021 | Controllo adattivo                   | 57  |
| 11022 | Controllo adattivo                   | 58  |
| 11023 | Controllo adattivo                   | 59  |
| 11024 | Controllo adattivo                   | 60  |
| 11025 | Controllo adattivo                   | 61  |
| 11026 | Controllo adattivo                   | 62  |
| 11027 | Controllo adattivo                   | 63  |
| 11028 | Controllo adattivo                   | 64  |
| 11029 | Controllo adattivo                   | 65  |
| 11030 | Controllo adattivo                   | 66  |
| 11031 | Controllo adattivo                   | 67  |
| 11032 | Controllo adattivo                   | 68  |
| 11033 | Controllo adattivo                   | 69  |
| 11034 | Controllo adattivo                   | 70  |
| 11035 | Controllo adattivo                   | 71  |
| 11036 | Controllo adattivo                   | 72  |
| 11037 | Controllo adattivo                   | 73  |
| 11038 | Controllo adattivo                   | 74  |
| 11039 | Controllo adattivo                   | 75  |
| 11040 | Controllo adattivo                   | 76  |
| 11041 | Controllo adattivo                   | 77  |
| 11042 | Controllo adattivo                   | 78  |
| 11043 | Controllo adattivo                   | 79  |
| 11044 | Controllo adattivo                   | 80  |
| 11045 | Controllo adattivo                   | 81  |
| 11046 | Controllo adattivo                   | 82  |
| 11047 | Controllo adattivo                   | 83  |
| 11048 | Controllo adattivo                   | 84  |
| 11049 | Controllo adattivo                   | 85  |
| 11050 | Controllo adattivo                   | 86  |
| 11051 | Controllo adattivo                   | 87  |
| 11052 | Controllo adattivo                   | 88  |
| 11053 | Controllo adattivo                   | 89  |
| 11054 | Controllo adattivo                   | 90  |
| 11055 | Controllo adattivo                   | 91  |
| 11056 | Controllo adattivo                   | 92  |
| 11057 | Controllo adattivo                   | 93  |
| 11058 | Controllo adattivo                   | 94  |
| 11059 | Controllo adattivo                   | 95  |
| 11060 | Controllo adattivo                   | 96  |
| 11061 | Controllo adattivo                   | 97  |
| 11062 | Controllo adattivo                   | 98  |
| 11063 | Controllo adattivo                   | 99  |
| 11064 | Controllo adattivo                   | 100 |
| 11065 | Controllo adattivo                   | 101 |
| 11066 | Controllo adattivo                   | 102 |
| 11067 | Controllo adattivo                   | 103 |
| 11068 | Controllo adattivo                   | 104 |
| 11069 | Controllo adattivo                   | 105 |
| 11070 | Controllo adattivo                   | 106 |
| 11071 | Controllo adattivo                   | 107 |
| 11072 | Controllo adattivo                   | 108 |
| 11073 | Controllo adattivo                   | 109 |
| 11074 | Controllo adattivo                   | 110 |