

# Ing. Elettrica

**Disciplina:** N445INE ANALISI MATEMATICA

MAT/05

**Corso di Studio:** INE IGE

**Crediti:** 12 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** PERA MARIA PATRIZIA

P1 MAT/05

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Matematica Applicata "G.Sansone"

---

Il programma del corso e il registro dettagliato delle lezioni sono reperibili all'indirizzo:  
<http://www.dma.unifi.it/~pera/>

Programma sintetico:

- Numeri, applicazioni tra insiemi, funzioni elementari.
- Limiti e continuita'.
- Derivate.
- Alcune applicazioni delle derivate. Ricerca di valori estremi.
- Le funzioni trascendenti (funzioni logaritmiche ed esponenziali).
- Formula di Taylor, sviluppi asintotici.
- L'integrale di Riemann.
- Integrali generalizzati.
- Successioni e serie numeriche.
- Funzioni di piu' variabili.
- Derivate parziali e direzionali.
- Differenziabilita' e ricerca di estremi.
- Integrali doppi e tripli.
- Equazioni differenziali ordinarie.

**Disciplina:** N243INE **AZIONAMENTI ELETTRICI**

ING-IND/32

**Corso di Studio:** INE

**Crediti:** 6 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** REATTI ALBERTO

P2 ING-IND/31

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Tutte le informazioni sui corsi ( programmi e appelli d'esame) sono consultabili al seguente indirizzo:

<a href="http://www.reatti.net">http://www.reatti.net</a>

### 1. INTRODUZIONE

Definizione di azionamento, classificazione generale, l'azionamento come sistema. Il sistema convertitore motore. Componenti fondamentali degli azionamenti elettrici per l'automazione. Servomotori e attuatori elettromagnetici, elettrostatici e piezoelettrici.

### 2. AZIONAMENTI DI MOTORI IN CORRENTE ALTERNATA

Richiami sui motori asincroni e sincroni trifasi. Convertitori a controllo di fase monofasi e trifasi.

Richiami ad inverter monofasi e trifasi. Controllo della tensione e della frequenza di uscita di un inverter. Inverter a tecnica PWM: PWM sinusoidale, PWM a cancellazione di armoniche, PWM a ripple minimo, PWM di tipo adattivo, PWM a slittamento di fase. Avviamento di un motore sincrono con inverter. Modello dell'insieme inverter-motore.

### 3. AZIONAMENTI IN CORRENTE CONTINUA

Richiami allo stato dell'arte negli azionamenti in corrente continua e modello di un motore in corrente continua.

Funzione di trasferimento del motore. Azionamenti con convertitori continua continua (chopper). Topologie fondamentali dei chopper. Azionamento con chopper di un motore in corrente continua. Frenatura dinamica di un motore in corrente continua. Frenatura a recupero di un motore in corrente continua. Controllo della velocità. Criteri di progetto di un controllo

### 4. AZIONAMENTI BRUSHLESS

Servomotori brushless: forme e particolarità costruttive. Modello matematico. Magneti permanenti di eccitazione tradizionali (ferrite) e ad alta energia (samario-cobalto, neodimio-ferro-boro); criteri di dimensionamento dei magneti. Controllo con tecnica trapezoidale; risoluzione del sensore di posizione; commutazione; ripple di coppia; modulazione unipolare e bipolare dell'inverter; campi di funzionamento; ricostruzione della corrente di coppia. Caratteristica meccanica dell'azionamento. Controllo con tecnica sinusoidale; modulazione del convertitore; anelli di corrente; risoluzione del sensore di posizione e ripple di coppia. Controllo dell'angolo di coppia e orientamento di campo. Controllori sensorless.

**Disciplina:** N019INE **CALCOLO NUMERICO**

MAT/08

**Corso di Studio:** INE IGE, IME

**Crediti:** 3 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** MORANDI ROSSANA

P1 MAT/08

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. di Energetica "S.Stecco"

---

#### {1} CONCETTI GENERALI

- Condizionamento
- Stabilità
- Algoritmi

#### {2} ANALISI DELL'ERRORE

- Rappresentazione in base di numeri interi e reali
- Algoritmi di conversione
- Numeri di macchina
- Operazioni di macchina

#### {3} EQUAZIONI NON LINEARI

- Bisezione, Corde, Regula Falsi, Secanti e Tangenti:  
descrizione ed analisi dei metodi.
- Criteri di arresto
- Ordine di convergenza

#### {4} SISTEMI LINEARI

- Condizionamento
- Metodi diretti per la soluzione di sistemi lineari:  
descrizione ed analisi della fattorizzazione
- Metodo di Gauss; stabilità e strategie di pivot

#### {5} INTERPOLAZIONE ED APPROSSIMAZIONE

- Il problema dell'interpolazione polinomiale
- Interpolazione di Lagrange: forma di  
Lagrange e di Newton del polinomio interpolante
- Espressione dell'errore
- Funzioni splines
- Il problema della migliore approssimazione polinomiale ai minimi quadrati nel  
discreto

**Note:**

I crediti relativi ad ogni argomento (CFU) sono riportati in parentesi.

La realtà ed i modelli che servono a descrivere la struttura, lo stato di aggregazione ed il comportamento chimico della materia: miscele omogenee ed eterogenee; sostanze pure. Il modello atomico della materia. Gli elementi chimici. Il linguaggio della chimica: i simboli degli elementi, le formule delle sostanze, le equazioni chimiche (0,30).

Il modello col quale si descrive la struttura dell'atomo: il nucleo e gli elettroni. La carica unitaria degli elettroni e dei protoni, il numero atomico ed il numero di massa. Gli isotopi degli elementi naturali. La massa degli atomi relativa a 1/12 la massa di <sup>12</sup>C. I Pes Atomici ed i Pes Molecolari (0,20).

La struttura elettronica degli atomi. I livelli energetici quantizzati dell'elettrone. La distribuzione nello spazio della densità elettronica: gli orbitali s, p, d. La configurazione elettronica degli elementi e la Tabella Periodica. Le proprietà periodiche degli elementi (energia di ionizzazione, affinità elettronica, elettronegatività, dimensioni atomiche) sono correlate alla loro configurazione elettronica esterna: metalli e non metalli (0,50).

Il legame covalente. Coppie di elettroni condivise fra due atomi. La sovrapposizione degli orbitali atomici ed i legami semplici e multipli correlati alle configurazioni elettroniche esterne degli elementi. Le formule di struttura: i criteri La regola delle repulsioni delle coppie di elettroni e la geometria molecolare (0,50).

Il legame ionico. L'interazione elettrostatica fra ioni di carica opposta che si ripete in modo continuo nello spazio. La formazione di ioni positivi e negativi correlata alla configurazione elettronica esterna degli elementi ed alle loro proprietà atomiche. La durezza, la fragilità e la solubilità in acqua delle sostanze ioniche (0,20).

Il legame metallico. La differenza fra metalli e non-metalli allo stato elementare. Il modello semplificato del legame metallico: ioni positivi legati insieme da elettroni delocalizzati su tutta la sostanza. Le proprietà meccaniche ed elettriche dei metalli correlate al modello del legame. Il modello dell'orbitale molecolare delocalizzato nei metalli, nel diamante nella grafite. La conduzione elettrica nei metalli, nei semiconduttori e nella grafite (0,20).

I legami intermolecolari. Le interazioni fra molecole polari, in particolare il legame a ponte di idrogeno. Le interazioni fra molecole apolari correlate alla polarizzabilità degli atomi e delle molecole. Le temperature di fusione e di ebollizione correlate alle forze di interazione fra le molecole (0,30).

I legami e le proprietà della materia. Gli stati di aggregazione e le proprietà meccaniche delle sostanze sono razionalizzate sulla base dei modelli di legame e sulla loro forza. La competizione fra l'energia cinetica correlata alla temperatura e l'energia potenziale correlata ai legami chimici. Le sostanze con struttura continua caratterizzate da concatenazioni dei legami (ioniche, covalenti, metalliche) e le sostanze molecolari. La disposizione regolare nello spazio delle unità strutturali che caratterizzano lo stato solido. Le caratteristiche che distinguono i tre stati di aggregazione della materia (0,20).

Gli stati gassoso e liquido della materia. Il modello ideale del gas e l'equazione di stato del gas ideale. L'energia cinetica del gas correlata alla sua temperatura ed alla sua pressione. Il sistema internazionale delle unità di misura. La grandezza fondamentale "quantità di sostanza" e la sua unità di misura, la mole. La massa molare. Le caratteristiche distintive degli stati di aggregazione solido, liquido e gassoso. Lo stato liquido. Viscosità e tensione superficiale dei liquidi. Lo stato amorfo. Calcoli stechiometrici sull'equazione di stato del gas ideale e su massa e quantità delle sostanze pure che si trasformano nelle reazioni (0,60).

Chimica inorganica sistematica. I legami e le proprietà chimiche delle sostanze elementari, degli ossidi, degli idruri, degli idrossidi, degli ossoacidi e dei sali. Le formule e la nomenclatura delle sostanze. Il numero di ossidazione. I modelli acido-base di Bronsted e di Lewis. La scrittura ed il bilanciamento delle reazioni acido-base. Il significato quantitativo delle reazioni (0,60).

Sostanze solubili ed insolubili in acqua. Il meccanismo di dissoluzione di un soluto nell'acqua, in particolare delle sostanze ioniche e molecolari. Le soluzioni acquose; gli aspetti quantitativi delle soluzioni: la concentrazione molare. Il prodotto di solubilità (0,30).

Gli equilibri elettrochimici. La scrittura ed il bilanciamento delle reazioni di ossido-riduzione in soluzione acquosa. Il funzionamento dei sistemi elettrochimici ideali. Reazioni spontanee di ossido-riduzione producono energia elettrica e determinano il segno degli elettrodi. La scala dei potenziali standard relativa all'elettrodo standard ad idrogeno. La differenza di potenziale alle condizioni standard come criterio di spontaneità delle reazioni redox. L'attacco del ferro da parte degli agenti atmosferici e la sua protezione elettrochimica. Celle reversibili: la batteria Pb/acido. Celle a combustibile H<sub>2</sub>/aria. L'elettrolisi delle soluzioni acquose di elettroliti: la scelta delle reazioni agli elettrodi in base ai potenziali standard di riduzione. La competizione fra l'elettrolita e l'acqua. Calcoli su carica elettrica e quantità delle sostanze che si trasformano (0,80).

Termodinamica delle reazioni. I fondamenti chimici dei processi energetici.

Il significato di equilibrio chimico e le costanti di equilibrio delle reazioni in fase gassosa. Gli equilibri spostati a destra e a sinistra. Il principio di Le Chatelier e lo spostamento degli equilibri. Il calore scambiato fra un sistema e

l'ambiente. Trasformazioni esotermiche ed endotermiche. L'entalpia e l'energia libera di formazione delle sostanze definite alle condizioni standard. L'entropia assoluta di una sostanza correlata allo stato di ordine o di disordine molecolare. Le variazioni di entalpia e di energia libera di reazione alle condizioni standard. Il criterio di spontaneità e di equilibrio nelle reazioni in fase gassosa. Calcoli stechiometrici su entalpia di reazione alle condizioni standard(0,70). Le transizioni di stato e le proprietà colligative delle soluzioni. L'evaporazione di un liquido puro e di una soluzione. La tensione di vapore di un liquido. La competizione fra l'energia potenziale di legame e l'energia cinetica. La distribuzione statistica dell'energia cinetica. L'aumento di entalpia e di entropia nell'evaporazione. I diagrammi di stato di H<sub>2</sub>O e di CO<sub>2</sub>: le temperature normali di fusione e di ebollizione. L'innalzamento ebullioscopico e l'abbassamento crioscopico delle soluzioni. La pressione osmotica delle soluzioni; l'osmosi inversa (0,20). Cinetica Chimica. La velocità di una reazione espressa mediante la variazione di concentrazione in funzione del tempo. La legge cinetica delle reazioni: la dipendenza della velocità iniziale dalla concentrazione dei reagenti e dalla temperatura. Il profilo energetico delle reazioni: l'energia di attivazione. Il meccanismo molecolare delle reazioni: il modello delle collisioni. La catalisi eterogenea (0,20). Le proprietà nucleari della materia. Le proprietà della materia che dipendono dalla struttura elettronica e quelle che dipendono dalla struttura nucleare. Il difetto di massa e l'energia di interazione fra nucleoni; il diagramma dell'energia media per nucleone. Il diagramma dei nuclidi stabili ed instabili in funzione del rapporto n/p+. la radioattività naturale e quella artificiale. La fissione nucleare di <sup>235</sup>U con neutroni; la reazione controllata e quella divergente. La fusione nucleare (0,20).

**Note:****DISPOSITIVI A SEMICONDUCTTORE (2.1 CFU)**

Semiconduttori. Forze, campi ed energia. Conduzione nei metalli. Semiconduttori intrinseci. Semiconduttori estrinseci. Effetti della temperatura sulle proprietà del silicio. Diffusione. Semiconduttori a drogaggio graduale.

Il diodo a giunzione pn. La giunzione a circuito aperto. La giunzione pn polarizzata. La caratteristica corrente-tensione. Dipendenza dalla temperatura della caratteristica I-V. Diodi al germanio. Il diodo come elemento circuitale. Modelli per grandi segnali. Applicazioni elementari del diodo. Modelli per piccoli segnali. Analisi di circuiti a diodi mediante programmi di simulazione. Tempi di commutazione del diodo a giunzione. Diodi Zener. Diodi Schottky. Il diodo a giunzione brusca. Caratteristiche di recupero inverso (Reverse Recovery). Diodi di Potenza. Modello del diodo con PSpice. Diodi in serie ed in parallelo.

Transistori bipolari a giunzione. Il generatore ideale controllato in corrente. Il transistor a giunzione. Il modello di Ebers-Moll del BJT. Le caratteristiche a base comune (common base, CB). La configurazione a emettitore comune (common emitter, CE). Modi di funzionamento in interdizione e in saturazione. Modelli in continua. Il BJT come interruttore. Il BJT come amplificatore. Il modello per piccoli segnali del BJT. Il BJT come diodo. La coppia differenziale. Limiti di funzionamento dei transistori (transistor ratings).

Transistori a effetto di campo. Il generatore ideale di corrente controllato in tensione. Il transistor MOSFET. Caratteristiche corrente-tensione del MOSFET ad arricchimento. Il MOSFET a svuotamento. Simboli circuitali dei MOSFET. Il transistor a effetto di campo a giunzione. Caratteristiche corrente-tensione del JFET. La caratteristica di trasferimento del JFET. Il MESFET. Analisi in continua dei FET. Il MOSFET come resistenza. Il FET come interruttore. Il FET come amplificatore. Modelli per piccoli segnali dei FET. Dispositivi CMOS (cenni).

**SIMULAZIONE AL COMPUTER DEI CIRCUITI ELETTRONICI DI POTENZA (0.3 CFU)**

Procedimento di simulazione: simulazione a larghi segnali, simulazione a piccoli segnali, comportamento del sistema ad anello aperto, studio dei particolari delle commutazioni. Simulatori orientati all'analisi circuitale (PSPICE). Simulatori orientati alla risoluzione delle equazioni di funzionamento (MATLAB). Tecniche di risoluzione nel dominio del tempo.

**RADDRIZZATORI (1.2 CFU)**

Raddrizzatori monofasi e semplice e doppia semionda, di tipo non controllato, semicontrollato, e controllato. Cenni su Raddrizzatori trifasi e semplice e doppia semionda, di tipo non controllato semicontrollato, e controllato. Fattore di potenza in circuiti non lineari, distorsione armonica totale, problemi legati alla distorsione armonica della corrente assorbita nei raddrizzatori a monofasi non controllati. Progetto di raddrizzatori.

**CONVERTITORI DC-DC. (1.0 CFU)**

Principio di funzionamento e criteri di progetto di convertitori di tipo PWM: Convertitore di tipo buck Convertitore di tipo boost. Convertitore di tipo buck-boost. Convertitore di tipo push-pull. Convertitore di tipo a mezzo ponte. Convertitore di tipo a ponte intero. Modelli lineari di convertitori DC-DC di tipo PWM. Esempi di dimensionamento.

**ALIMENTATORI (0.8 CFU)**

Alimentatori stabilizzati. Regolatori lineari e a commutazione. Convertitori dc-dc isolati. Convertitore di tipo forward. Convertitore di tipo flyback. Controllo dei convertitori dc-dc a commutazione usati come stabilizzatori. Progetto di regolatori dc-dc

**CONSIDERAZIONI PROGETTUALI PRATICHE ( 0.6 )**

Controllo della temperatura dei componenti di potenza. Progetto di componenti avvolti. Modellamento dei convertitori dc-dc e criteri di progetto della rete di retroazione. Esempi applicativi di progetto di convertitori dc-dc ed ac-dc con regolatori PWM completi di rete di compensazione.

**Disciplina:** 45667887 **DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE**

ING-IND/15

**Corso di Studio:** INE IGE BMS

**Crediti:** 6 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** CASCINI GAETANO

RC ING-IND/15

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Meccanica e Tecn. Indust.

---

Vedi [www.dmti.unifi.it/disegno\\_ge](http://www.dmti.unifi.it/disegno_ge)

Introduzione al corso

Le normative

Rappresentazione

- Introduzione

- Proiezioni ortogonali

- Viste ausiliarie

- Particolarita'

- Sezioni

- Quotatura

- Esempi

Materiali da costruzione

Tecnologie di fabbricazione

Tolleranze dimensionali

Tolleranze geometriche

Rugosita'

Quotatura funzionale

Elementi delle macchine

- Collegamenti

- Collegamenti albero-mozzo

- Ruote dentate

- Cinghie

- Giunti

- Supporti e cuscinetti volventi

- Cuscinetti di strisciamento

Assemblaggi

- Riduttore

- Compressore

- Pompa

Modellazione funzionale di Prodotto e di Processo

**Disciplina:** N170INE **ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE** ING-IND/35  
**AZIENDALE**

**Corso di Studio:** INE IGE, IME **Crediti:** 6 **Tipo:** R

**Note:**

**Docente:** RAPACCINI MARIO RC ING-IND/35 **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. di Energetica "S.Stecco"

---

ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE IGE

**Disciplina:** N238INE **ELEMENTI DI RICERCA OPERATIVA** MAT/09

**Corso di Studio:** INE IGE **Crediti:** 3 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** SCHOEN FABIO P1 MAT/09 **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Sistemi e Informatica

---

**Note:**

1) Definizioni

Sistemi di unità di misura.

Grandezze elettriche e magnetiche: carica, corrente, tensione, campo elettrico, potenza, energia, campo magnetico, induzione magnetica, flusso.

Il concetto di circuito: nodi, rami, maglie. Limiti di applicabilità della teoria dei circuiti.

Bipoli e multipoli. Proprietà dei bipoli e dei circuiti: costanti concentrate, linearità, passività, reciprocità, causalità, tempo invarianza.

Sorgenti di energia. Modelli ideali e reali per i generatori indipendenti di tensione e di corrente.

Modelli ideali e relazioni costitutive dei componenti circuitali passivi bipolari: resistore, condensatore e induttore.

2) Analisi di reti elettriche resistive

Il problema fondamentale della teoria dei circuiti.

Legge di Ohm.

Leggi di Kirchhoff per le tensioni e per le correnti.

Serie e paralleli di resistenze. Partitore di tensione e partitore di corrente.

Principio di sovrapposizione degli effetti.

Principio di sostituzione.

Teoremi di Thevenin, di Norton e di Millman.

Teorema del massimo trasferimento di potenza.

Trasformazioni stella-triangolo e vvs.

Reti a scala. Ponte di Wheatstone.

3) Metodi d'analisi topologici

Metodo d'analisi alle maglie:

analisi di circuiti contenenti solo generatori di tensione indipendenti e resistori,

analisi di circuiti contenenti generatori di tensione e di corrente e resistori.

Metodo d'analisi ai nodi:

analisi di circuiti contenenti solo generatori di corrente indipendenti e resistori,

analisi di circuiti contenenti generatori di corrente e di tensione e resistori.

4) Analisi di circuiti del I ordine nel dominio del tempo

Serie e paralleli di condensatori e induttori.

Energia immagazzinata e dissipata nei componenti ideali.

Analisi di circuiti RC ed RL: risposta al gradino di un circuito del I ordine.

Analisi mediante soluzione di equazioni differenziali.

Risposta transitoria e risposta permanente.

Calcolo della risposta a regime con eccitazioni costanti ( Metodo semplificato).

5) Analisi di reti elettriche in regime permanente sinusoidale.

Tensioni e correnti descritte da funzioni sinusoidali

Valor medio e valor efficace.

Impiego dei vettori di fase (fasori) nella rappresentazione di funzioni sinusoidali.

Notazione trigonometrica ed esponenziale di grandezze complesse.

Diagrammi fasoriali ed interpretazione grafica delle operazioni su di essi.  
Il circuito simbolico nel dominio dei fasori.  
Concetti di impedenza ed ammettenza.

Analisi dei circuiti elettrici a regime.  
Legge di Ohm.  
Leggi di Kirchhoff per le tensioni e per le correnti.  
Serie e paralleli di resistenze.  
Partitore di tensione e partitore di corrente.  
Principio di sovrapposizione degli effetti.  
Principio di sostituzione.  
Teoremi di Thevenin, di Norton e di Millman.  
Metodo di analisi alle maglie. Metodo di analisi ai nodi.

#### 6) Potenza ed energia in regime sinusoidale

Potenza istantanea in regime sinusoidale.  
Potenza attiva, potenza variabile e sue componenti, potenza reattiva, potenza complessa, potenza apparente.  
Principio di conservazione della potenza.  
Teorema di Boucherot.

Teorema del massimo trasferimento di potenza.  
Fattore di potenza.  
Rifasamento parziale e totale dei circuiti monofase.

#### 7) Sistemi trifase

Definizioni. Sistemi trifase simmetrici ed equilibrati con carico collegato a stella (con e senza filo neutro) e a triangolo.  
Sistemi trifasi dissimmetrici e squilibrati.

Potenza a regime permanente nei sistemi trifase.  
Rifasamento carico trifase.  
Potenza deformante.

#### 8) Cenni di Macchine elettriche

Induttori mutuamente accoppiati.  
Trasformatore ideale.

Trasformatore monofase: generalità, circuiti equivalenti, riluttanza, cifra di perdita; funzionamento a vuoto e in corto circuito. Parallelo di trasformatori. Trasformatori trifasi. Autotrasformatori.

Convertitori elettromeccanici. Il campo magnetico rotante.

Macchina asincrona: generalità, principio di funzionamento.

Macchina sincrona: generalità, principio di funzionamento.

Macchina in corrente continua: generalità, principio di funzionamento.

#### 9) Cenni di Impianti elettrici

Legislazione. Normativa italiana ed europea. D.Lgs. 81/08.  
Sistemi di produzione, di trasformazione, di trasmissione e di distribuzione.

Trasmissione a corrente continua ed a corrente alternata.  
Impianti elettrici di distribuzione ed utilizzo in bassa tensione (ad uso civile ed industriale).

Apparecchi di manovra: sezionatori, contattori, interruttori.  
Interruttori differenziali e magnetotermici.  
Sistemi di protezione dalle sovracorrenti: sovraccarichi e corto-circuiti.

Sistemi di protezione da contatti diretti ed indiretti.  
Impianti di messa a terra: dimensionamento ed installazione.



**Disciplina:** N002INE **FISICA GENERALE I**

FIS/01

**Corso di Studio:** INE IGE

**Crediti:** 6 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** SCIORTINO SILVIO

RC FIS/01

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. di Energetica "S.Stecco"

---

**Disciplina:** N016INE **FISICA GENERALE II**

FIS/01

**Corso di Studio:** INE IGE

**Crediti:** 6 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** BORCHI EMILIO

25U FIS/01

**Copertura:** CONCS

**Ente appartenenza:** Dip. di Energetica "S.Stecco"

Salvo diversa indicazione gli argomenti si intendono svolti come in [1] e [2].

**ELETTROSTATICA DI SISTEMI DI CARICHE NEL VUOTO:** Carica elettrica – Legge di Coulomb – Principio di sovrapposizione degli effetti - - Il campo elettrico - - Teorema di Gauss - Lavoro del campo elettrico - Potenziale elettrico - Energia elettrostatica di un sistema di cariche – Equazione di Poisson.

**CONDUTTORI:** Elettrostatica dei conduttori – Teorema di Coulomb- Induzione elettrostatica – Energia potenziale di un sistema di N conduttori – Energia elettrostatica – Capacità di un conduttore – Condensatori – Energia elettrostatica nei condensatori – Condensatore ad armature piane e parallele, sferico e cilindrico - Condensatori in serie e in parallelo – Condensatore con lamina metallica inserita – Forze sui condensatori.

**DIELETTICI:** Dipolo elettrico – Potenziale generato dal dipolo in punti lontani – Campo elettrico generato da un dipolo a grande distanza - Proprietà dei dielettrici - Polarizzazione – Potenziale generato da un dielettrico polarizzato in un punto esterno – Campo elettrico all'interno di un dielettrico – Teorema di Gauss nei dielettrici - Suscettività e costante dielettrica - Condizioni al contorno per E e D - Condensatori riempiti con dielettrici.

**CORRENTI ELETTRICHE IN REGIME STAZIONARIO:** Materiali conduttori, semiconduttori ed isolanti - Definizione di intensità di corrente elettrica - Densità di corrente - Equazione di continuità - Conducibilità elettrica nei metalli - Legge di Ohm - Resistenza elettrica - Resistività e conducibilità elettrica - Forza elettromotrice - Generatori - Legge di Ohm generalizzata - Legge di Joule.

**CIRCUITI ELETTRICI IN CORRENTE CONTINUA:** Gli elementi delle reti: il resistore, il condensatore, l' induttore e loro relazioni costitutive – Principi di Kirchhoff - Metodo delle correnti cicliche di maglia - Elementi passivi ed attivi in serie ed in parallelo - Teorema di Thevenin.

**MAGNETOSTATICA NEL VUOTO :** forza di Lorentz - Campo magnetico B generato da un filo rettilineo percorso da corrente: legge di Biot-Savart - Prima formula di Laplace – Campo magnetico generato da una spira circolare – Campo magnetico sull'asse di un solenoide – Legge di Gauss per il campo magnetico – Seconda formula di Laplace – Forze esercitate tra due fili rettilinei percorsi da corrente – Definizione meccanica di Ampère – Momento magnetico e momento meccanico agente su una spira percorsa da corrente – Spira rettangolare immersa in un campo magnetico uniforme – Dimostrazione elementare del teorema di Ampère.

**INDUZIONE ELETTROMAGNETICA:** Esperienze di induzione elettromagnetica: Legge di Faraday-Neumann e legge di Lenz – F.e.m. indotta associata alla deformazione di un circuito – Legge di Felici - Autoinduzione – Energia magnetica.

**CIRCUITI CON FENOMENI INDUTTIVI:** Risposta transitoria e risposta di regime permanente di un circuito RL serie – Costante di tempo.

**EQUAZIONI DI MAXWELL:** La densità di corrente di spostamento – Le equazioni di Maxwell in forma differenziale ed integrale.

**TERMODINAMICA [2]:** temperatura, principio zero della termodinamica, temperatura del termometro a gas perfetto, scala di temperatura internazionale (STI), trasformazioni termodinamiche, le tradizionali leggi dei gas e l'equazione di stato dei gas perfetti, sviluppo del viriale, trasformazioni isoterme di fluidi reali, equazione di stato di Van der Waals, coefficienti termometrici. Lavoro nelle trasformazioni quasi statiche di un fluido, lavoro nelle trasformazioni adiabatiche, primo principio della termodinamica, energia interna, quantità di calore, espressione matematica del primo principio della termodinamica, capacità termiche, calori molari e calori specifici, calori latenti, calori di reazione e legge di Hess, entalpia, coefficienti calorimetrici, definizione termodinamica di gas perfetto, proprietà dei gas perfetti. Trasformazioni reversibili e irreversibili, macchine termiche, secondo principio della termodinamica, teorema di Carnot, temperatura termodinamica assoluta, rendimento di un generico ciclo di Carnot, teorema di Clausius, entropia, espressione matematica del secondo principio della termodinamica, metodo per accertare se una trasformazione è reversibile o irreversibile, legge dell'accrescimento dell'entropia, diagramma entropico, equazione dell'energia interna, equazione dell'entalpia.



Numero indica i crediti parziali dell'argomento che precede

Richiami

Sistema termodinamico; equilibrio termodinamico; principio zero e temperatura. Termometri.

0.15

Termodinamica sistema chiuso

Lavoro e calore; trasformazioni reversibili. Primo principio della termodinamica. Energia Interna. Secondo principio della termodinamica; teorema di Clausius; entropia ed irreversibilita'

0.65

Termodinamica sistema aperto

Bilanci di massa e di energia per sistemi aperti; entalpia; applicazione del secondo principio ai sistemi aperti; uso combinato dei due principi; exergia; rendimenti di I e II principio

1.45

Comportamento dei materiali

Caratteristiche dei fluidi termodinamici; coefficienti calorimetrici; relazione di Clapeyron; gas ideale; liquidi; sistemi bifase; processi sui gas ideali; diagrammi termodinamici. Miscele di gas perfetti

2.35

Psicrometria

Miscela di aria e vapor d'acqua e relative grandezze e trasformazioni; diagramma psicrome-trico

2.75

Moto fluidi

Fluidi newtoniani e non; equazione di Bernoulli gen; numero di Reynolds; perdite di carico. Camini

3.05

Scambio termico

Conduttività termica dei materiali; equazioni della conduzione termica; sistemi con generazione di energia; strutture composte.

3.65

Transitori

3.75

Convezione naturale e forzata; strato limite; coefficiente di scambio termico; equazioni rappresentative del fenomeno; analisi dimensionale. Alette.

4.65

Concetti di base nello scambio termico con cambiamento di fase.

4.8

Leggi dell'irraggiamento; interazioni tra radiazione e corpi; comportamento dei corpi reali; fattori di vista; irraggiamento tra corpi neri e grigi; effetto serra

5.8

Scambiatori di calore

Coefficiente globale di trasmissione del calore; rendimento superfici alettate. Metodo DTML per il dimensionamento

Il Numero indica i crediti parziali dell'argomento che precede

Richiami

Sistema termodinamico; equilibrio termodinamico; principio zero e temperatura. Termometri.

0.15

Termodinamica sistema chiuso

Lavoro e calore; trasformazioni reversibili. Primo principio della termodinamica. Energia Interna. Secondo principio della termodinamica; teorema di Clausius; entropia ed irreversibilita'

0.65

Termodinamica sistema aperto

Bilanci di massa e di energia per sistemi aperti; entalpia; applicazione del secondo principio ai sistemi aperti; uso combinato dei due principi; exergia; rendimenti di I e II principio

1.45

Comportamento dei materiali

Caratteristiche dei fluidi termodinamici; coefficienti calorimetrici; relazione di Clapeyron; gas ideale; liquidi; sistemi bifase; processi sui gas ideali; diagrammi termodinamici. Miscele di gas perfetti

2.35

Psicrometria

Miscele di aria e vapor d'acqua e relative grandezze e trasformazioni; diagramma psicrometrico

2.75

Moto fluidi

Fluidi newtoniani e non; equazione di Bernoulli gen; numero di Reynolds; perdite di carico. Camini

3.05

Scambio termico

Conduzione termica dei materiali; equazioni della conduzione termica; sistemi con generazione di energia; strutture composte.

3.65

Transitori

3.75

Convezione naturale e forzata; strato limite; coefficiente di scambio termico; equazioni rappresentative del fenomeno; analisi dimensionale. Alette.

4.65

Concetti di base nello scambio termico con cambiamento di fase.

4.8

Leggi dell'irraggiamento; interazioni tra radiazione e corpi; comportamento dei corpi reali; fattori di vista;

irraggiamento tra corpi neri e grigi; effetto serra

5.8

Scambiatori di calore

Coefficiente globale di trasmissione del calore; rendimento superfici alettate. Metodo DTML per il dimensionamento

**Note:**

1. Introduzione.

Scopo e linee principali del corso.

2. Sistemi e modelli.

Modelli matematici di sistemi fisici; classificazione dei sistemi; schemi a blocchi. Modelli dinamici lineari stazionari ingresso-uscita ed in equazioni di stato, e loro relazioni.

3. Studio del comportamento ingresso-uscita dei sistemi.

Risposta libera. Risposta forzata ed integrale di convoluzione. Analisi nel dominio della trasformata di Laplace; funzione di trasferimento e sua rappresentazione. Risposta al gradino: parametri caratteristici; sistemi del secondo ordine. Risposta a segnali sinusoidali: risposta in frequenza e sua rappresentazione in diagrammi di Bode e Nyquist; sistemi del secondo ordine.

4. Proprietà globali dei sistemi.

Stabilità rispetto a perturbazioni di durata finita per sistemi lineari stazionari; criterio di Routh-Hurwitz. Stabilità rispetto a segnali persistenti per sistemi lineari stazionari; stabilità ingresso limitato - uscita limitata.

5. Sistemi con retroazione.

Generalità; sistema con retroazione unitaria. Rappresentazioni della funzione di trasferimento ad anello chiuso; circonferenze a modulo costante; il luogo delle radici. Stabilità interna e criterio di Nyquist. Stabilità relativa; margini di fase e di guadagno. Problema di inseguimento asintotico per ingressi canonici; tipo del sistema; reiezione dei disturbi. Il transitorio di un sistema con retroazione; relazioni con la risposta in frequenza del guadagno d'anello.

6. Il problema del controllo.

Schemi di controllo; controllo in catena aperta e controllo in retroazione. Controllo con retroazione unitaria.

7. Tecniche di sintesi.

Sintesi per tentativi; specifiche di controllo; progetto delle reti correttive elementari.

8. Sistemi a dati campionati.

Cenni al problema di campionamento e ricostruzione dei segnali. Implementazione digitale di controllori analogici; tecniche di integrazione e matching.

**Disciplina:** N091INE **FONDAMENTI DI INFORMATICA**

ING-INF/05

**Corso di Studio:** INE IGE, IME

**Crediti:** 6 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** FANTECHI ALESSANDRO

P1 ING-INF/05

**Copertura:** TITAN

**Ente appartenenza:** Dip. Sistemi e Informatica

---

Il calcolatore come strumento che permette di fare operazioni su oggetti

Concetto di algoritmo

La notazione dei diagrammi di flusso per la descrizione degli algoritmi

Concetto di variabile

Il sistema operativo

Struttura a livelli di un calcolatore

L&#8217;algebra booleana

Rappresentazione posizionale di numeri interi in una base qualsiasi

Sistemi di numerazione in modulo

Rappresentazione binaria

Rappresentazione di numeri negativi

Rappresentazione di numeri reali in virgola fissa e in virgola

Rappresentazione di testi e altre informazioni

L&#8217;architettura di un calcolatore

Linguaggi di programmazione

Il processo di compilazione

Il linguaggio di programmazione Java

Fondamenti di programmazione strutturata.

Concetti di base di Object-Oriented Programming.

Definizione di una classe: gerarchia delle classi, packages.

Classe System

Principali modificatori: public, private, abstract, static. Classi e metodi static.

Principali packages del linguaggio

Esempi di programmazione Java

Implementazione di GUI. Design Container-Component. Eventi e ascoltatori di eventi

Algoritmi di ordinamento

Considerazioni sulla complessità degli algoritmi

Algoritmi di ricerca in un vettore: ricerca esaustiva ricerca binaria

**Disciplina:** N235INE **FONDAMENTI DI MECCANICA TEORICA E** ING-IND/13  
**APPLICATA**

**Corso di Studio:** INE IGE **Crediti:** 6 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** GIUSTI ROBERTO RC ING-IND/13 **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. di Energetica "S.Stecco"

---

**Corso di Studio:** INE **Crediti:** 3 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** PAGANELLI FEDERICA 25U **Copertura:** CRETR

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Introduzione alle reti di calcolatori e Internet

Cos'è Internet in termini di componenti e servizi. I protocolli. La struttura della rete. Il nucleo della rete. Commutazione di circuito e di pacchetto. Reti di accesso e mezzi trasmissivi. Accesso residenziale, accesso istituzionale e accesso wireless.

Introduzione all'HTML

Il web: generalità e terminologia. Le Uniform Resource Identifiers (URI). I principi dell'HTML. Gli elementi e i tag dell'HTML. Il collegamento ipertestuale. Il passaggio di parametri: i form.

I protocolli a strati

Cos'è un protocollo. Interfacce ed API. La stratificazione: principi e caratteristiche. Stratificazione protocollare e dati. La pila protocollare di Internet. Il modello di riferimento ISO/OSI. La gerarchia degli strati. Il modello funzionale degli strati. Formattazione dell'informazione. Incapsulamento dei dati. Descrizione dei livelli della pila ISO/OSI.

Lo strato applicativo

Protocollo dello strato di applicazione. Applicazioni di rete: terminologia. Il paradigma Client-Server. L'indirizzamento. Tipologie di trasporto richieste dalle applicazioni. Il Web: terminologia. Il web: il protocollo HTTP. Il protocollo FTP. La posta elettronica: principi, formati dei messaggi, protocolli. Il DNS.

TCP/IP

Il modello a strati di TCP/IP. La suite di protocolli di TCP/IP. Il protocollo IP. Il protocollo UDP. Il protocollo TCP. I datagrammi. La finestra di trasmissione TCP. Il concetto di porta e endpoint. Esempi di porte.

HTTP

Generalità di funzionamento. Proxy, Gateway e Tunnel. Uniform Resource Identifiers (URI). Messaggi HTTP. Gli header HTTP. HTTP Request e HTTP Response. Le Entità.

Principi di sicurezza nelle Reti di Telecomunicazioni

Sicurezza fisica, logica, di rete. I principali attacchi informatici. I principali virus. L'attacco di rete. Le patch. Architettura per la Sicurezza. Principi di Crittografia. Firma elettronica. Certificati Digitali. Il Packet Filtering. I Firewall: principi e implementazione. Sicurezza a livello IP: IPSEC. Le Virtual Private Network. Sicurezza a livello di trasporto: SSL. Sicurezza nelle applicazioni: PGP

**Disciplina:** N001INE **GEOMETRIA**

MAT/03

**Corso di Studio:** INE IGE

**Crediti:** 6 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** CABRAS ANTONELLA

RC MAT/03

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Matematica Applicata "G.Sansone"

---

#### ALGEBRA VETTORIALE

Coordinate cartesiane nel piano e nello spazio. Vettori applicati e vettori liberi. Addizione tra vettori. Moltiplicazione tra uno scalare e un vettore. Prodotto scalare. Proiezione ortogonale e componente orientata. Prodotto vettoriale. Prodotto misto. Combinazione lineare di vettori. Vettori linearmente dipendenti e indipendenti. Teorema della base. Lo spazio vettoriale  $\mathbb{R}^n$ .

#### ALGEBRA MATRICIALE E SISTEMI LINEARI

Lo spazio vettoriale delle matrici  $m \times n$ . Prodotto di matrici. Rango per righe e rango per colonne. Matrici a scala. Metodo di riduzione. Determinante e sue proprietà. Minori di una matrice e caratteristica. Caratteristica e rango. Equazioni e sistemi lineari. Metodo di Gauss. Teorema di Rouché-Capelli. Soluzione generale di un sistema lineare. Teorema e regola di Cramer. Inversa di una matrice. Interpolazione polinomiale. Matrici simili. Matrici diagonalizzabili. Autovalori e autovettori di una matrice. Calcolo degli autovalori. Diagonalizzazione delle matrici reali di ordine 2 e 3.

#### GEOMETRIA VETTORIALE

Equazioni parametriche della retta nello spazio. Equazione cartesiana del piano nello spazio. Parallelismo e perpendicolarità fra piani. Equazioni cartesiane della retta. Parallelismo e perpendicolarità fra rette nello spazio. Parallelismo e perpendicolarità fra una retta ed un piano. Problemi angolari nel piano e nello spazio. Distanza di un punto da un piano e da una retta. Rette sghembe. Distanza tra due rette sghembe.

## PROGRAMMA DEL CORSO DI IMPIANTI ELETTRICI

Caratteristiche generali dei sistemi di distribuzione dell'energia elettrica. Ripartizione delle potenze e dei consumi dell'utenza nazionale, diagrammi di carico.

Schemi tipici di reti di distribuzione di prima, seconda e terza categoria (BT-MT-AT).

Trasformazione di variabili con i componenti simmetrici. Normalizzazione per-unit dei parametri dei componenti di rete.

Richiami della teoria dei trasformatori monofase e trifase. Prove a vuoto e in corto circuito e determinazione dei parametri equivalenti normalizzati dei trasformatori.

Principali apparecchi di potenza ed ausiliari impiegati nelle reti di distribuzione e negli impianti utilizzatori: definizioni e simboli grafici.

Schemi tipici di cabine di trasformazione MT/BT per distribuzione pubblica e di cabine di utente.

Sorgenti di energia di riserva e di sicurezza: gruppi elettrogeni e gruppi di continuità statici.

Strutture tipiche degli impianti elettrici utilizzatori di prima categoria (BT) e loro articolazione in sezioni normale, privilegiata, di continuità assoluta.

Metodologia di progetto degli impianti elettrici utilizzatori.

Definizione del lay-out delle utenze, valutazione delle potenze, dimensionamento delle sorgenti di energia e scelta degli schemi di distribuzione.

Dimensionamento dei conduttori in relazione alle portate a regime permanente e alle cadute di tensione. Calcolo delle correnti di corto circuito. Caratteristiche delle protezioni contro le sovracorrenti e loro scelta in relazione alle correnti di corto circuito e all'energia passante nei conduttori durante i guasti.

Elementi dei sistemi di protezione contro i contatti indiretti e loro dimensionamento: impianti di messa a terra e di protezione, protezioni differenziali.

Valutazione del rischio da fulmine e criteri di scelta e di progetto degli impianti di protezione.

Scelta delle caratteristiche costruttive dei componenti e degli impianti, in relazione con le caratteristiche ambientali e di destinazione d'uso.

Elementi di illuminotecnica: grandezze fondamentali, caratteristiche delle sorgenti luminose, metodi di progetto e calcoli semplificati.

Legislazione nazionale ed europea in materia di sicurezza degli apparecchi, dei componenti e degli impianti elettrici.

Norme di Legge e norme tecniche. Verifiche degli impianti.

**Disciplina:** N242INE **IMPIANTI INDUSTRIALI**

ING-IND/17

**Corso di Studio:** INE IGE, IME

**Crediti:** 6 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** BANDELLONI MARTINO

P1 ING-IND/17

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. di Energetica "S.Stecco"

---

**1 - Richiami sui circuiti magnetici.**

Relazioni i-H e B-H. Circuiti magnetici equivalenti senza traferri e con traferri. Curve di magnetizzazione - Calcolo di circuiti magnetici: noto il flusso, determinare la forza magnetomotrice, e viceversa - Isteresi; perdite per isteresi - Correnti Parassite e perdite connesse - Perdite del nucleo magnetico - Eccitazione sinusoidale dell'induttanza senza isteresi e con isteresi del nucleo magnetico: caratteristica j-i; circuito equivalente - Magneti permanenti.

**2 - Trasformatori**

Cenni costruttivi - Trasformatore ideale - Relazioni costitutive - Adattamento di impedenza - Trasformatore reale monofase - Circuito equivalente - Circuiti equivalenti approssimati - Prova a vuoto e prova in corto circuito - Regolazione di tensione - Rendimento. Autotrasformatore - Trasformatore trifase. Gruppi di collegamento - Trasformatori trifase con circuito magnetico unico - Armoniche - Trasformatori di misura.

**3 - Conversione elettromeccanica dell'energia**

Equazione che regola il trasferimento dell'energia elettrica in energia meccanica, più energia magnetica del campo di interfaccia, più l'energia legata alle perdite - Caso del sistema lineare - Espressione della forza e della coppia meccanica, dell'energia di campo magnetico - Macchine di traslazione e di rotazione - Trasduttore elettrico - magneto - meccanico e suo modello circuitale, ideale e reale: trasformatore elettrico - magneto - meccanico - Reversibilità del dispositivo.

**4 - Macchine asincrone**

Cenni costruttivi - Campo magnetico rotante con metodo grafico ed analitico. Tensioni indotte - Macchine trifase anche a più coppie polari - Scorrimento - Relazioni fra frequenza elettrica dello statore del campo magnetico rotante di statore, meccanica del rotore, della f.e.m. indotta negli avvolgimenti rotorici, del campo magnetico rotante del rotore. I tre modi di lavoro: motore, generatore, freno - Rotore avvolto e rotore a gabbia di scoiattolo semplice e doppia. Avvolgimenti di statore - Circuito equivalente - Prova con rotore senza carico e con rotore bloccato. Espressione della coppia motrice - Rendimento - Flusso della potenza nei tre modi di funzionamento - Controllo della velocità del rotore - Avviamento. Motore ad induzione lineare - Motore asincrono monofase, vari tipi.

**5 - Macchina sincrona**

Cenni costruttivi. Particolarità della macchina sincrona: doppia eccitazione (corrente continua sul rotore e corrente alternata sullo statore) - Generatore sincrono - Caratteristica di eccitazione a circuito di statore aperto - Collegamento alla rete di distribuzione pubblica dell'energia elettrica - Collegamento a una rete individuale - Avviamento come motore (con convertitore a frequenza variabile), oppure come motore ad induzione con avvolgimento aggiunto - Reazione di indotto - Circuito equivalente secondo Behn Eschemburg e secondo Poiter - Prova con circuito di statore aperto e chiuso in corto circuito - Diagrammi fasoriali nel funzionamento come generatore e come motore. Potenza, coppia, angolo di coppia, rendimento. Controllo del fattore di potenza mediante la corrente di eccitazione - Macchine a poli salienti; trasferimento di potenza. Cenni sul motore sincrono lineare. Motore sincrono e a riluttanza anche con corrente a commutazione di statore.

**6 - Macchina in corrente continua**

Cenni costruttivi - Tipi di eccitazione. Tensione indotta di armatura e coppia di reazione sviluppata sul rotore nel caso di generatore e coppia sviluppata sul rotore e tensione di reazione nel caso del motore - Motore con eccitazione indipendente, in parallelo, serie - Controllo della velocità - Motori con magnete permanente - Motore universale.

**7 - Macchine speciali**

Cenni sui servomotori e sui motori passo-passo.

**Disciplina:** N161INE **MISURE ELETTRICHE**

ING-INF/07

**Corso di Studio:** INE Ing. Elettronica

**Crediti:** 6 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** MILLANTA LUIGI

P2 ING-INF/07

**Copertura:** CRETR

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

#### PARTE METODOLOGICA

Applicazioni sperimentali di analisi statistica dei dati. Medie, scarti, dispersione. Errori sistematici e casuali. Ripercussione delle incertezze (deterministica, probabilistica). Distribuzione normale, reiezione di dati anomali. Scarto-tipo della media. Minimi quadrati e massima verosimiglianza. Distribuzione di Student. Determinazioni provenienti da distribuzioni diverse, media pesata e scarto-tipo risultante. Valutazione delle incertezze di "Tipo A" e di "tipo B".

Distribuzioni stimate a priori (rettangolare, trapezoidale, triangolare, ad U). Incertezza combinata, incertezza estesa.

#### PARTE APPLICATIVA

Oscilloscopio - Strumento analogico: pannello comandi, architettura, risposta in frequenza e al gradino. Strumento digitale: vantaggi e limitazioni rispetto allo strumento analogico, architettura, tecniche di campionamento (tempo-reale e tempo equivalente). Sonde di tensione ad alta impedenza: partitore R-C, compensazione, comportamento al variare della frequenza e risposta al gradino nel caso di sonda compensata e non, impedenza d'ingresso.

#### PARTE SPECIALISTICA

Misure per verifiche sugli impianti elettrici.

---

PARTE INTRODUTTIVA - Cenni su normazione, certificazione e accreditamento. Conformità, affidabilità, manutenibilità e disponibilità (fidatezza), qualità: evoluzione temporale dei concetti e relative definizioni (Norme UNI EN ISO 9000:2000, CEI 56-50).

#### 1. AFFIDABILITÀ E DISPONIBILITÀ -

1.1 Concetti di guasto, avaria e loro classificazione. Modelli matematici di affidabilità (densità di probabilità di guasto, tasso di guasto istantaneo e "curva a vasca", legge fondamentale dell'affidabilità); parametri statistici di affidabilità e disponibilità (MTTF, MTBF, MTTR, Ao). Affidabilità di sistema, Reliability Block Diagram, configurazioni canoniche (serie, parallelo, stand-by, r su n) e miste. Tecniche di calcolo di affidabilità e disponibilità per configurazioni non canoniche (metodo delle ispezioni, degli eventi, della probabilità condizionata, delle unioni e dei tagli minimi, tecnica della matrice di connessione).

1.2 Previsione di affidabilità: calcolo e interpretazione del tasso di guasto ed MTBF di componenti e apparati elettronici, uso di banche dati (MIL-HDBK 217, IRPH 2003 ITALTEL, BELLCORE), metodi part count e part stress.

1.4 Analisi di disponibilità di sistemi complessi: metodi induttivi e deduttivi, Quality Function Deployment (QFD), analisi dei modi e degli effetti di guasto (FMEA) e della loro criticità (FMECA), analisi dell'albero delle avarie (FTA). Disponibilità di sistema: analisi con il modello di Markov. Cenni su LCC (Life Cycle Cost).

#### 2. QUALITÀ, CONTROLLO E MIGLIORAMENTO

2.1 Qualità totale e gestione della qualità totale (TQM). Controllo di qualità e tecniche di miglioramento: controllo di prodotto e di processo, tolleranza naturale e di specifica. Variabilità di processo e cause.

2.2 Controllo di qualità in-linea, diagramma di Pareto, diagramma causa-effetto, carte di controllo per variabili e per attributi (riferimento alle norme UNI e ISO corrispondenti): carte e per valori singoli; costruzione ed interpretazione delle carte.

2.3 Controllo statistico di processo. Cause aleatorie e sistematiche. Misura di conformità e della capacità di processo. Processi centrati e non centrati. Indici di capacità e di performance. Determinazione della percentuale di prodotti non conformi. Tecniche di correzione e miglioramento dei processi produttivi.

2.4 Inferenza statistica, stimatori e loro proprietà; stima puntuale e per intervallo.

#### 3. CERTIFICAZIONE

3.1 Normazione, Certificazione e Accreditamento e relativi Organismi. La politica del "Nuovo approccio" e le Direttive europee; concetto di requisito essenziale di sicurezza.

3.2 Direttive europee in ambito elettrico (bassa tensione, compatibilità elettromagnetica, macchine), attività cogenti e marcatura CE. Iter per la marcatura.

3.3 Certificazione di prodotto volontaria e marchi di qualità. Iter di certificazione.

3.4 Certificazione aziendale. Sistema di Gestione per la Qualità, La gestione per processi, Politica per la qualità, Manuale Qualità, UNI ISO 9001:2000. Iter di certificazione, Organismi di certificazione e federazioni nazionali ed internazionali (CISQ, IQNet).

#### ATTIVITÀ DI LABORATORIO ED ESERCITAZIONI

Durante lo svolgimento del corso saranno effettuate esercitazioni di laboratorio (con relazione), seminari integrativi aziendali e presentazione di casi di studio su argomenti specifici del programma.

**Disciplina:** N236INE **PRINCIPI DI INGEGNERIA ELETTRICA**

ING-IND/31

**Corso di Studio:** INE IGE

**Crediti:** 6 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** MANETTI STEFANO

P1 ING-IND/31

**Copertura:** TITAN

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Grandezze elettriche fondamentali. Teoria dei Circuiti e suoi limiti di applicabilità. Leggi di Kirchoff. Componenti passivi. Connessioni serie e parallelo di componenti. Partitore di tensione e di corrente. Trasformazioni stella-triangolo. Principio di sovrapposizione degli effetti. Teoremi di Millman, Thevenin, Norton. Metodi di Analisi su base Maglie e Nodi. Generatori controllati. Trasformatore ideale. Analisi di circuiti nel dominio del tempo. Analisi mediante soluzione di equazioni differenziali. Risposta transitoria e risposta permanente. Calcolo della risposta a regime con eccitazioni costanti. Valore efficace. Fasori. Circuiti equivalenti nel dominio dei fasori. Risposta in frequenza. Risposta in ampiezza e risposta in fase. Circuiti risonanti serie e parallelo. Coefficiente di risonanza. Larghezza di banda. Potenza attiva, fattore di potenza, potenza reattiva, potenza apparente e potenza complessa. Triangolo delle potenze. Conservazione della potenza complessa. Rifasamento. Teorema del massimo trasferimento di potenza. Analisi di sistemi trifase simmetrici ed equilibrati, simmetrici e non equilibrati, con e senza filo neutro. Rifasamento di carichi trifase. Potenza nei sistemi trifase. Induttori mutuamente accoppiati. Trasformatore monofase. Circuito equivalente del trasformatore. Prova a vuoto e prova in corto circuito del trasformatore. Rendimento del trasformatore. Autotrasformatore.

**Disciplina:** N309INE **PRINCIPI DI PROGETTAZIONE MECCANICA** ING-IND/14

**Corso di Studio:** INE IGE **Crediti:** 6 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** VANGI DARIO P2 ING-IND/14 **Copertura:** TITAN

**Ente appartenenza:** Dip. Meccanica e Tecn. Indust.

---

**Disciplina:** N244INE **SISTEMI ELETTRICI PER L'ENERGIA**

ING-IND/33

**Corso di Studio:** INE

**Crediti:** 6 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** MARTARELLI GIANCARLO

P2 ING-IND/33

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

#### PROGRAMMA DEL CORSO SISTEMI ELETTRICI PER L'ENERGIA

Caratteristiche generali dei sistemi di produzione, trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. Principali tipi di centrali di produzione, di stazioni e di linee. Bilancio nazionale dell'energia elettrica.

Trasformazioni di variabili. Componenti simmetrici. Trasformazione di Park. Metodo di normalizzazione per-unit dei parametri dei componenti di rete: generatori, trasformatori, linee, carichi.

Richiami della teoria dei trasformatori monofase e trifase. Trasformatori speciali: trasformatori a tre avvolgimenti, autotrasformatori, trasformatori regolatori sotto carico.

Macchine sincrone. Macchine sincrone isotrope e anisotrope: caratteristiche costruttive principali, reti equivalenti.

Equazioni di equilibrio elettrico e meccanico e loro trasformazione di Park. Reti equivalenti di asse diretto, di quadratura, omopolare. Equazioni della macchina isotropa a regime permanente e loro rappresentazione nel piano delle potenze. Funzionamento della macchina isotropa in parallelo con la rete. Cenni sulla stabilità. Carta di funzionamento di una centrale.

Linee. Principali caratteristiche costruttive delle linee, con particolare riferimento alle linee aeree. Calcolo dei parametri resistivi, induttivi e capacitivi delle linee, con e senza trasposizioni e funi di guardia.

Analisi di sistemi a regime permanente. Load flow: modello di rete, ipotesi, equazioni risolutive. Metodi di soluzione delle equazioni di load flow: metodi di Glimm-Stagg, di Ward-Hale, di Carpentier, di Stott, metodo in corrente continua.

Correnti di corto circuito. Metodo generale di calcolo e relative ipotesi. Calcolo di correnti di corto circuito trifase monofase a terra, bifase isolato, bifase a terra, con e senza impedenze di guasto.

Stazioni ad alta tensione (AT). Principali apparecchiature di manovra e di protezione dei trasformatori e delle linee. Schemi tipici di stazioni AT.

**Note:**

---

Mutuato dal Corso di SISTEMI ENERGETICI corso di Laurea Nuovo Ordinamento Ingegneria Meccanica IME (vedi corrispondente scheda)

BOZZA PROGRAMMA DI SISTEMI ENERGETICI INGEGNERIA GESTIONALE/ELETTRICA A. A. 2004 - 2005

1) Impianti con turbina a vapore 12 h (9 lezione + 3 esercitazione)

Circuito e ciclo Elementare

-Rappresentazione sui vari piani termodinamici

Espressioni del rendimento

Influenza dei parametri operativi sulle prestazioni degli impianti a vapore

-Pressione minima (al condensatore)

-Pressione massima

-Temperatura massima

Componenti degli Impianti a vapore

- Condensatore

- Scambiatori a miscela

- Degasatori

- Turbopompa

- Caldaia

2) Impianti con turbina a gas 12 h (9 lezione + 3 esercitazione)

Ciclo termodinamico base

-Descrizione ciclo termodinamico ideale

-Cenni storici

-Sviluppi e caratteristiche

-Rendimento del ciclo ideale

Modifiche del ciclo

-Rigenerazione

-Interrefrigerazione

-Post combustione (Reheat)

-Ciclo Ericsson

-Iniezione di acqua

-Iniezione di vapore

-Cicli Rigenerativi-Evaporativi

3) Motori a combustione interna 6 h (4 lezione + 2 esercitazione)

-Classificazione

-Parametri geometrici

- Ciclo ideale accensione comandata e spontanea a quattro tempi

-Ciclo reale e prestazioni

-Parametri caratteristici

-Cenni alle problematiche di impatto ambientale

4) Impianti frigoriferi 4 h (3 lezione + 1 esercitazione)

-Introduzione

-Coefficiente di prestazione

-Cicli Frigoriferi a Compressione Semplice

-Cicli Frigoriferi perfezionati a compressione semplice

-Cicli Frigoriferi a doppio livello di pressione

-Cicli Frigoriferi a compressione in serie

- Fluidi frigoriferi
- Cicli frigoriferi ad assorbimento
- Pompe di calore

5) Impianti combinati e cogenerativi 5 h (3 lezione + 2 esercitazione)

- Introduzione e principi di funzionamento
- Tipologie e classificazione
- Tipologie caldaie a recupero
- Criteri di progettazione delle caldaie a recupero
- Esempi di impianto
- Principio della cogenerazione
- Tipologie di impianti

6) Fluidodinamica monodimensionale delle turbomacchine 12 h (9 lezione + 3 esercitazione)

Bilanci energetici nelle turbomacchine

- Equazione di Eulero
- Formulazione del lavoro tramite energie cinetiche
- Considerazioni sulla potenza
- Rotalpia ed entalpia totale
- Coefficienti di carico e di portata

Triangoli di velocità

- Definizioni
- Studio delle turbomacchine
- Triangoli di velocità
- Costruzione dei triangoli di velocità
- Triangoli per macchine assiali
- Triangoli per turbina assiale
- Triangoli per compressore assiale
- Triangoli per macchine radiali

Lo scambio energetico negli stadi delle turbomacchine - diagrammi h-s

- Rappresentazione di una trasformazione nel piano h-s
- Rappresentazione nel piano h-s per turbina assiale
- Grado di reazione
- Rendimento di stadio di turbina
- Rendimento di stadio di compressore

7) Teoria della similitudine nelle turbomacchine 4 h (3 lezione + 1 esercitazione)

- Analisi dimensionale
- Similitudine dinamica per flussi comprimibili
- Curve caratteristiche per turbina e compressore
- Similitudine dinamica per flussi incomprimibili

8) Le turbomacchine idrauliche operatrici (pompe) 5 h (4 lezione + 1 esercitazione)

- Introduzione
- Prevalenza e potenza delle pompe
- Tipologia
- Componenti della pompa centrifuga
- Curve caratteristiche
- Pompe assiali
- Pompe centrifughe
- Punto di funzionamento
- Parametri adimensionali
- Numero di giri specifico
- Pompe in serie e parallelo

**Disciplina:** N233INE **TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA** ING-IND/22  
**APPLICATA**

**Corso di Studio:** INE IGE IME BMS **Crediti:** 6 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** GALVANETTO EMANUELE P2 ING-IND/22 **Copertura:** TITAN

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Civile

---

#### INTRODUZIONE ALLA SCIENZA DEI MATERIALI.

Classificazione dei materiali. Legami atomici e molecolari. Solidi ionici, covalenti, metallici e molecolari.

Cenni di struttura a bande dei solidi. Proprietà ottiche ed elettriche.

Materiali cristallini e amorfi. Celle elementari e reticoli cristallini. Principali strutture cristalline dei metalli.

Difetti.

Solidificazione. Cinetiche di nucleazione ed accrescimento.

Diffusione atomica nei solidi. Leggi di Fick. Trattamenti di diffusione.

Trasformazioni di fase non-diffusive.

#### METODI DI ANALISI DI DETERMINAZIONE DELLA MICROSTRUTTURA

Principi di microscopia ottica, elettronica e di diffrazione di raggi X.

#### PROPRIETÀ MECCANICHE.

Comportamento meccanico dei materiali. Determinazione delle proprietà meccaniche dei materiali.

Prova di trazione. Caratteristiche meccaniche. Rigidezza, resistenza, durezza, tenacità. Rottura duttile e fragile.

#### DIAGRAMMI DI STATO

Diagrammi di stato a due componenti con solubilità reciproca completa, nulla e parziale allo stato solido

Formazione di composti. Trasformazioni eutettiche e peritettiche.

Diagramma Fe-C.

#### FABBRICAZIONE DELLA GHISA E DELL'ACCIAIO

Riduzione degli ossidi di ferro. Alto forno. Affinazione della ghisa. Convertitori.

Acciai al carbonio.

Acciai inossidabili.

Trattamenti termici degli acciai al carbonio; ricottura, normalizzazione, tempra, rinvenimento.

Classificazione e designazione degli acciai.

Ghise di seconda fusione

#### LEGHE NON FERROSE

Leghe di alluminio.

Indurimento per precipitazione.

Cenni su leghe di rame, leghe di nichel, leghe di titanio.

#### RAFFORZAMENTO DEI MATERIALI METALLICI

##### DEGRADO E PROTEZIONE DEI MATERIALI METALLICI

Meccanismo elettrochimico di corrosione ad umido: aspetti stechiometrici, termodinamici e cinetici. Accoppiamento galvanico o polarizzazione esterna.

Metodi di prevenzione e protezione: prevenzione per modifica della superficie del metallo; protezione elettrica.

Forme di corrosione localizzata. Ambienti di corrosione. Valutazione e controllo dei fenomeni corrosivi.

##### COMBUSTIONE

Potere calorifico. Aria di combustione, volume e composizione dei fumi. Temperatura teorica di combustione. Perdita al camino. Temperatura di ignizione, limiti di infiammabilità. Potenziale termico.

##### COMBUSTIBILI

Classificazione, combustibili di interesse industriale, cokificazione, raffinazione del petrolio, gas naturale.

Carburanti: benzine e oli per diesel.

---

Introduzione alla scienza e tecnologia dei materiali.  
Classi di materiali. Legami atomici e molecolari. Solidi ionici, covalenti, metallici e molecolari.  
Proprietà dei materiali. Cenni sulla struttura a bande dei solidi. Proprietà ottiche ed elettriche.  
Comportamento meccanico dei materiali. Determinazione delle proprietà meccaniche dei materiali. Prova di trazione.  
Rigidezza, resistenza, durezza, tenacità. Rottura duttile e fragile. Resilienza. Materiali cristallini e amorfi.  
Celle elementari e reticoli cristallini. Principali strutture cristalline dei metalli. Difetti reticolari. Solidificazione.  
Cinetiche di nucleazione ed accrescimento. Diffusione atomica nei solidi. Leggi di Fick. Trattamenti di diffusione.  
Trasformazioni di fase non-diffusive.  
Principi di microscopia ottica, elettronica e di diffrazione di raggi X.  
Diagrammi di stato a due componenti con solubilità reciproca completa, nulla e parziale allo stato solido. Formazione di composti. Trasformazioni eutettiche e peritettiche.  
Rafforzamento dei materiali metallici.

Diagramma Fe-C. Trasformazione dell'austenite al raffreddamento. Trattamenti termici massivi e superficiali degli acciai. Trattamenti termici degli acciai al carbonio: ricottura, normalizzazione, tempra, rinvenimento. Classificazione e designazione degli acciai. Riduzione degli ossidi di ferro. Alto forno. Affinazione della ghisa. Convertitori. Proprietà degli acciai al variare del tenore di carbonio. Acciai al carbonio. Acciai inossidabili.

Leghe di alluminio. Indurimento per precipitazione.  
Cenni su leghe di rame, leghe di nichel, leghe di titanio.

Meccanismo elettrochimico di corrosione ad umido: aspetti stechiometrici, termodinamici e cinetici. Accoppiamento galvanico o polarizzazione esterna. Metodi di prevenzione e protezione: prevenzione per modifica della superficie del metallo, protezione elettrica. Forme di corrosione localizzata. Ambienti di corrosione. Valutazione e controllo dei fenomeni corrosivi.

Potere calorifico. Aria di combustione, volume e composizione dei fumi. Temperatura teorica di combustione. Perdita al camino. Temperatura di ignizione, limiti di infiammabilità. Potenziale termico. Classificazione dei combustibili, combustibili di interesse industriale, coking, raffinazione del petrolio, gas naturale. Carburanti: benzine e oli per diesel.

Cenni sui materiali ceramici  
Cenni sui materiali polimeri  
Cenni sui materiali compositi

