

# **Ing. Meccanica**

**Disciplina:** N331IME ANALISI ARMONICA

MAT/05

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** ZECCA PIETRO

P1 MAT/05

**Copertura:** AFF03

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

---

Trasformate di Laplace:

Definizione d esistenza delle trasformate di Laplace; Proprietà delle trasformate; Teoremi di traslazione; Trasformata di funzioni integrali e derivate; La trasformazione inversa; Il teorema di convoluzione; Uso delle tavole delle trasformate; Applicazione alle equazioni differenziali lineari a coefficienti costanti; La funzione Gamma Euleriana. Funzioni di variabile complessa.

Serie di Fourier in seno e coseno; Serie di Fourier complete; Serie di Fourier-Bessel, serie di Legendre; Integrale di Fourier.

La variabile complessa; Funzioni elementari di variabile complessa; Funzioni analitiche di variabile complessa; Integrale di linea per funzioni complesse; Formula integrale di Cauchy; Serie di Taylor e Laurent; Singolarità delle funzioni analitiche, singolarità all'infinito; Residui; Valutazione di integrali definiti in campo reale; Teoremi dei contorni limite; Integrali con punti di ramificazione; trasformazioni conformi; applicazioni delle trasformazioni conformi ai potenziali di fluidi in due dimensioni.

**Disciplina:** P489IME ANALISI MATEMATICA

MAT/05

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** CONTI GIUSEPPE

P2S MAT/05

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Servizi Generali

---

A.a. 2001/02 (aggiornato al 13/6/02)

Gli insiemi. I numeri.

Elementi di logica; i quantificatori; condizione necessaria e condizione sufficiente; Gli insiemi; operazioni tra insiemi. Le funzioni; dominio e codominio; funzioni iniettive, suriettive e biunivoche; funzioni inverse e funzioni composte. Le relazioni, relazioni di ordine e di equivalenza; insieme quoziente. Grafico di una funzione.

I numeri reali; operazioni e relazione d'ordine. Valore assoluto; proprietà. Numeri razionali, interi, naturali. Il principio di induzione. Estremo superiore e inferiore; massimi e minimi. L'assioma di Dedekind. Radice n-esima di un numero reale positivo; logaritmi e esponenziali. Cardinalità degli insiemi numerici.

Topologia della retta. Punti di accumulazione, isolati, interni, di frontiera, esterni. Insiemi aperti e chiusi e relative proprietà. Il principio di Bolzano-Weierstrass.

Numeri complessi; operazioni e relative proprietà; Modulo e coniugato di un numero complesso. Il piano di Argand-Gauss. Forma trigonometrica; argomento e argomento principale. Prodotto e divisione di due numeri complessi in forma trigonometrica; la formula di De Moivre. Le radici n-esime di un numero complesso; interpretazione geometrica. Scomposizione in fattori di un polinomio. Il teorema fondamentale dell'algebra.

Le funzioni.

Funzioni reali di una variabile reale. Le funzioni elementari ed i relativi grafici. Funzioni limitate, crescenti, decrescenti, periodiche, pari e dispari. Massimi e minimi relativi e assoluti.

Le successioni.

Successioni limitate e successioni monotone. Limite di una successione; successioni convergenti e divergenti.

Operazioni sui limiti. Teorema dell'unicità del limite. Teorema del sandwich. Teorema della permanenza del segno.

Limitatezza di successioni convergenti. Limite di una successione monotona. Il limite notevole  $e$ . Il numero  $e$  e di Nepero. Sottosuccessioni.

Limiti e continuità delle funzioni reali.

Definizione di limite finito ed infinito in un punto ed all'infinito. Unicità del limite. Limite destro e sinistro.

Condizione necessaria e sufficiente per l'esistenza del limite di una funzione per mezzo delle successioni. Il Teorema della permanenza del segno. Operazioni sui limiti. Forme indeterminate. Teorema del sandwich. Limite di una funzione composta. Il limite notevole  $e$ . Altri limiti notevoli, che si deducono dai limiti precedenti.

Continuità. Continuità delle funzioni elementari. Continuità delle funzioni inverse e composte. Continuità del valore assoluto. Teorema degli zeri. Teorema dei valori intermedi. Teorema di Weierstrass dell'esistenza dei massimi e minimi assoluti. Funzioni discontinue. Funzioni lipschitziane.

Le derivate.

Derivata di una funzione in un punto. Significato geometrico e fisico. Condizione necessaria per la derivabilità.

Derivata destra e sinistra. Derivate di funzioni elementari. Regole di derivazione. Derivata di una funzione composta e di una funzione inversa. Derivate successive.

Applicazioni del calcolo differenziale.

Teorema di Fermat. Teorema di Rolle. Controesempi. Teorema di Lagrange. Conseguenze del teorema di Lagrange.

Monotonia in un intervallo e in un punto. Teorema di Cauchy. Ricerca massimi e minimi relativi.

Infiniti, infinitesimi e loro ordine. Confronto di infinitesimi e di infiniti. Principio di sostituzione degli infinitesimi e degli infiniti. Teoremi di De l'Hospital. Differenziale di una funzione. Formule di Taylor e di Mac Laurin. Espressioni del resto. Formula di Mac Laurin di funzioni elementari. Limiti con la formula di Taylor. Valore approssimato di una funzione.

Studio di una funzione.

Ricerca di massimi e minimi relativi; concavità, convessità e flessi con la formula di Taylor. Gli asintoti. Cuspidi e punti angolosi.

Gli integrali.

Definizione di integrale definito; proprietà dell'integrale. Significato geometrico. Condizione necessaria e sufficiente per l'integrabilità. Integrabilità delle funzioni monotone e delle funzioni continue. Teorema della media. Funzione integrale; proprietà. Teorema fondamentale e formula fondamentale del calcolo integrale. Calcolo delle aree di

superfici piane. Formule di integrazione per sostituzione e per parti per l'integrale definito.

Primitive di una funzione. Integrale indefinito; integrali immediati. Integrazione per scomposizione, per sostituzione e per parti. Integrazione di funzioni razionali; metodo dei fratti semplici. Integrazione di funzioni irrazionali e di funzioni trascendenti.

Integrali impropri o generalizzati; casi di funzioni non limitate e di intervalli illimitati. Integrali impropri convergenti, divergenti e indeterminati. Criteri di convergenza; criterio del confronto e del confronto asintotico; criterio della convergenza assoluta.

Le serie.

Serie numeriche. Serie convergenti, divergenti e indeterminate. Serie geometrica e serie telescopiche. Condizione necessaria per la convergenza. Criteri del confronto, del confronto asintotico, della radice, del rapporto, di Leibniz, della convergenza assoluta. Il criterio di condensazione. Il criterio integrale. La serie armonica e la serie armonica generalizzata. Serie di Taylor. Condizione necessaria e sufficiente per la sviluppabilità in serie di Taylor di una funzione. Una condizione sufficiente. Sviluppi in serie di funzioni elementari.

**Disciplina:** N274IME **AZIONAMENTI OLEODINAMICI E PNEUMATICI** ING-IND/14

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

**Note:**

**Docente:** BRACCIALI ANDREA P2 ING-IND/14 **Copertura:** AFF03

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

---

Introduzione. Caratteristiche della pneumatica. Impieghi dell'aria compressa. Differenze fra pneumatica e oleoidraulica. Classificazione dei dispositivi pneumatici. Descrizione dei principali simboli ISO. Caratteristiche generali dei gas. Efflusso dei gas. Velocità dell'efflusso e velocità del suono

La compressione dell'aria, tipi di compressori: a pistoni, a palette a lobi, a vite, cenno sui turbocompressori, regolazione dei compressori, scelta del tipo di compressore per vari utilizzi.

Trattamento dell'aria compressa, filtraggio, deumidificazione, lubrificazione, i gruppi FRL, immagazzinaggio dell'aria compressa, dimensionamento dei serbatoi, reti di distribuzione, esempi di distribuzione in linea ad anello e in parallelo.

Raccordi per tubi metallici, Collegamenti flessibili, dimensionamento delle reti, perdite di carico distribuite e concentrate, determinazione del diametro dei tubi, classificazione degli attuatori, i cilindri pneumatici, caratteristiche costruttive, ammortizzatori di fine corsa, cilindri in particolari condizioni di lavoro, fissaggio dei cilindri.

Dimensionamento dei cilindri, forza statica, forza trasversale, forza dinamica, carico di punta, consumo di aria, Attuatori lineari a trascinamento magnetico e con fenditura, attuatori rotativi a cremagliera e a pamola, attuatori speciali, unità guida con cilindri interni ed esterni, pinze pneumatiche, unità di traslazione e rotazione, tavole rotanti, unità aria-olio, moltiplicatori di pressione, unità di avanzamento oleopneumatiche, cenno sugli ammortizzatori oleoidraulici.

Valvole di controllo della direzione, tipi funzionali, tipi costruttivi, comando delle valvole, Servopilotaggio, comandi manuali, meccanici, pneumatici, elettrici, montaggio delle valvole, collegamenti singoli in batteria e fieldbus, dimensionamento delle valvole, calcolo analitico e grafico.

Valvole di regolazione della portata, tipi e varietà costruttive, dimensionamento dei regolatori di portata, Valvole riduttrici di pressione, impiego dei riduttori di pressione, dimensionamento dei riduttori di pressione, valvole ad autocommutazione, valvole unidirezionali, valvole di scarico rapido, valvole sequenziali, valvole selettive, valvole temporizzatrici, i silenziatori.

Tecnica proporzionale, azionamento, attuatori, sensore - trasduttore, elemento di comparazione, elemento di elaborazione ed amplificazione, controllo proporzionale della pressione, impieghi controllo proporzionale della pressione, controllo proporzionale della portata e impieghi, controllo proporzionale della posizione, posizionamento servopneumatico, esempi di costruzione dei circuiti e relativa simulazione al PC.

Caratteristiche dei sistemi oleoidraulici: definizioni, schema rappresentativo di un circuito oleoidraulico, grandezze fondamentali e unità di misura, tabelle di conversione, proprietà dei fluidi utilizzati in oleoidraulica, attrito interno e viscosità, moto dei fluidi, laminare o turbolento, il numero di Reynolds, le perdite di carico distribuite e concentrate, classificazione e caratteristiche dei fluidi idraulici, la viscosità in funzione della temperatura, potere lubrificante e proprietà antiusura, l'inflammabilità.

Le pompe, caratteristiche generali, pompe volumetriche e non volumetriche, diagramma delle caratteristiche, portata e rendimento volumetrico, il rendimento meccanico, rendimento globale e potenza di una pompa. Le pompe a ingranaggi: esterni ed interni, le pompe a vite, pompe a palette, pompe a pistoni e pompe a pistoni radiali, pompe a pistoni assiali, pompe a pistoni assiali con piastra inclinata e con blocco cilindri fisso allineato, pompe a piastra inclinata con blocco cilindri rotante allineato, pompe a pistoni assiali con blocco cilindri inclinato. La regolazione della cilindrata, regolatore a potenza costante, regolatore a pressione costante. La durata delle pompe.

Attuatori, cilindri, caratteristiche generali e tipologie, parametri per il dimensionamento, carico di punta. Frenatura, stima della velocità finale. Attuatori rotativi. Motori, caratteristiche meccaniche coppia, velocità, potenza, curve caratteristiche. Tipologie costruttive, ingranaggi, palette, cilindri assiali, orbitali.

Regolazione a potenza costante del motore a cilindrata variabile. Motori a pistoni radiali fissi, a pistoni radiali. Valvole per il controllo della direzione, intercettazione. Distributori rotativi, a sede ed a cassetto. Esempi di applicazione. Ricoprimento nei distributori a cassetto, azionamento, manuale, pneumatico, oleodinamico, elettrico diretto ed indiretto. Tipi di pilotaggio nei distributori ad azionamento elettrico indiretto.

Valvole a cartuccia, struttura e funzionamento, funzioni realizzabili in funzione dei diversi collegamenti attuabili, valvola di non ritorno pilotata in un senso o nell'altro, valvola di intercettazione, distributore 4/2. Valvole limitatrici di pressione (caratteristica  $D_p Q$ ), valvole limitatrici pilotate, valvole regolatrici di pressione. Strozzatori, dipendenza della portata dal  $D_p$ , regolatori di flusso, adattamento al  $D_p$ . Valvole di non ritorno pilotate.

Accumulatori, cenni alle tipologie costruttive, pistone, diaframma, sacca. Stima del volume utile in funzione del ciclo di funzionamento. Valutazione del legame tra il rapporto delle pressioni massima e minima, il volume utile ed il volume massimo del gas. Considerazioni sulla potenza dissipata e sul suo smaltimento.

Esempi di circuiti oleodinamici. Esempio di trasmissione con circuito chiuso e reintegro dell'olio. Tecnica proporzionale, schema logico, elettronica, amplificazione attuatore elettromeccanico valvola attuatore oleodinamico ed eventuale retroazione. Solenoide proporzionale schema e caratteristica. Distributore proporzionale bistadio, caratteristica ingresso portata perdita di pressione. Valvola limitatrice di pressione proporzionale, schema caratteristica ingresso pressione con e senza retroazione. Valvola di controllo portata schema, caratteristica ingresso portata con e senza retroazione. Servovalvola, schema di servovalvola bistadio, curve caratteristiche, portata ingresso, pressione ingresso, risposta in frequenza, portata perdite di pressione.

**Disciplina:** N182IME **BIOMECCANICA**

ING-IND/34

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** CORVI ANDREA

P1 ING-IND/34

**Copertura:** AFF03

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

---

Biomeccanica: approcci, metodi; aree di interesse e di sviluppo.

Biostatica: Masse e baricentri e momenti di inerzia.

Analisi del movimento: modellistica, sistemi di acquisizioni di grandezze cinematiche e dinamiche; applicazioni per la valutazione funzionale quantitativa dei disordini motori; applicazioni nella rieducazione motoria, valutazione delle azioni agenti nei muscoli, articolazioni, segmenti ossei. Biomeccanica del passo, e di alcune articolazioni.

Ingegneria della riabilitazione: problematiche, metodi, strumenti

Il sistema circolatorio: Il cuore, sistema arterioso e sistema venoso

Biomeccanica nello sport: problematiche, metodi, strumenti

---

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  $^{12}\text{C}$ . I Pesì Atomici ed i Pesì Molecolari. La massa molare (0,20).

La struttura elettronica degli atomi. I livelli energetici quantizzati dell'elettrone nell'idrogeno e negli elementi polielettronici. La distribuzione nello spazio della densità elettronica: gli orbitali s, p, d. La configurazione elettronica degli elementi e la Tabella Periodica. Le proprietà atomiche 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: come si costruiscono a partire dal numero complessivo degli elettroni esterni. 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, alle loro proprietà atomiche ed all'energia del legame ionico. 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. Il modello dell'orbitale molecolare delocalizzato nei metalli, e negli elementi del IV Gruppo. Le proprietà meccaniche ed elettriche dei metalli correlate al modello del legame: la conduzione elettrica nei metalli e nei semiconduttori (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 (0,20).

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).

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. Le caratteristiche distintive degli stati di aggregazione solido, liquido e gassoso.

Viscosità e tensione superficiale dei liquidi. Lo stato amorfo. Calcoli stechiometrici sull'equazione di stato del gas ideale e sulla quantità delle sostanze che si trasformano nelle reazioni (0,50).

Le proprietà chimiche e lo stato di aggregazione delle sostanze elementari, degli ossidi, dei composti con idrogeno, degli idrossidi, degli ossoacidi e dei sali sono correlate alle proprietà atomiche degli elementi ed ai legami che essi formano. Le formule e la nomenclatura delle sostanze. Il numero di ossidazione. Il modello acido-base di Bronsted. La scrittura ed il bilanciamento delle reazioni acido-base. Il significato quantitativo delle reazioni (0,60).

Gli equilibri acido-base. Il significato generale di equilibrio e di costante di equilibrio. La concentrazione molare delle soluzioni acquose. Acidi e basi forti e deboli; la scala di  $K_a$  e  $K_b$ . La forza degli acidi compresa fra  $\text{H}^+$  ed  $\text{H}_2\text{O}$  e delle basi compresa fra  $\text{OH}^-$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . L'autoprotolisi dell'acqua ed il pH. Il comportamento acido-base delle sostanze ricavato dai valori di  $K_a$  e  $K_b$ . Gli aspetti quantitativi delle reazioni acido-base: calcoli su pH di soluzioni di acidi e basi forti, su reazioni di neutralizzazione (0,40).

Il meccanismo di dissoluzione di un soluto nell'acqua, in particolare delle sostanze ioniche e delle sostanze molecolari gassose. Le soluzioni acquose; gli aspetti quantitativi delle soluzioni: la concentrazione molare (0,20).

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 in funzione della temperatura, pressione e concentrazione. 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 (0,50).



Il meccanismo e la velocità di una reazione. La velocità media di reazione definita in base alla variazione di concentrazione. La legge cinetica di Arrhenius. Il modello delle collisioni che spiega la legge cinetica empirica. Il profilo energetico delle reazioni: l'energia di attivazione. La distribuzione statistica delle velocità molecolari e l'aumento della velocità della reazione con la temperatura. La catalisi eterogenea (0,30).

Le trasformazioni di fase. L'evaporazione di un liquido puro e di una soluzione acquosa di un sale. La tensione di vapore di un liquido. La competizione fra l'energia potenziale di interazione fra le molecole e la loro energia cinetica media. Il contributo entropico all'evaporazione. Diagrammi di stato di acqua e biossido di carbonio. Le temperature standard di fusione e di ebollizione di un liquido puro e della soluzione di un sale. la pressione osmotica, l'osmosi inversa (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 e la scala dei potenziali standard relativa all'elettrodo standard ad idrogeno. I potenziali standard di riduzione come criterio di spontaneità delle reazioni redox: ossidanti e riducenti in ambiente acido e basico. 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. La grandezza molare Faraday. Calcoli stechiometrici sulle quantità delle sostanze che si trasformano nei processi elettrochimici(0,80).

Le proprietà nucleari della materia. Il difetto di massa e l'energia media di legame. Nuclidi stabili ed instabili in funzione del rapporto neutroni/protoni. Il decadimento nucleare, alfa, beta(-), beta(+), cattura elettronica. Le famiglie radioattive naturali. Il tempo di dimezzamento. La fissione nucleare e la fusione nucleare (0.1).

**Disciplina:** N292IME **COMPLEMENTI DI CALCOLO NUMERICO** MAT/08

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

**Note:**

**Docente:** MORANDI ROSSANA P1 MAT/08 **Copertura:** AFF03

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

---

Anno accademico 2006/2007

Metodi iterativi per sistemi lineari

Metodo di Jacobi e metodo di Gauss Seidel

Metodi SOR

Convergenza dei metodi iterativi

Metodi numerici per il calcolo degli autovalori:

Localizzazione

Metodo delle potenze e sue varianti

Formule di Quadratura:

Formule interpolatorie

Formule composte

Cenni sulla convergenza e stabilità

Cenni su metodi numerici per equazioni differenziali ordinarie:

Metodi espliciti ed impliciti

Metodo di Eulero e varianti

Utilizzo del linguaggio Matlab

**Disciplina:** P306IME **COMPLEMENTI DI COSTRUZIONE DI** ING-IND/14  
**MACCHINE**

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

**Note:**

**Docente:** REALE SERGIO P1 ING-IND/14 **Copertura:** AFF03

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

---

Il fenomeno della Fatica. La fatica come danno; fatica ad alto e basso numero di cicli: aspetti micro e macro; nucleazione e crescita di un difetto per effetto di carichi affaticanti; fatica, danno, frattura, ed il loro controllo nelle strutture; valutazione della vita a fatica di un componente; approccio infinite life, safe life, fail safe, damage tolerant.

La Fatica ad alto numero di cicli (stress life). Normativa; diagrammi e modalità di rappresentazione del comportamento a fatica; elementi caratterizzanti la vita a fatica di un elemento; legge di Miner, sollecitazioni multiassiali.

La Fatica a basso numero di cicli (strain life). Comportamento a carichi ciclici, curve Strain life, elementi caratterizzanti la vita a fatica di un elemento, approccio alla Coffin- Manson.

La Meccanica delle fratture e la fatica: La Meccanica della frattura lineare elastica: Presenza di un difetto in una struttura, suoi effetti; condizioni di criticità di un difetto; descrizione dello stato di tensione all'apice di un difetto; il parametro di campo K; Tenacità a frattura. leggi di crescita di un difetto; valutazione della vita di un componente soggetto a carichi affaticanti.

Cenno alla utilizzazione delle "direttive di prodotto"; cenno alla utilizzazione di tecniche di "progettazione concettuale"

**Disciplina:** N288IME **COMPLEMENTI DI MECCANICA RAZIONALE** MAT/07

**Corso di Studio:** IME MAS **Crediti:** 3 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** FROSALI GIOVANNI P1 MAT/07 **Copertura:** AFF03

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

---

## COMPLEMENTI DI MECCANICA RAZIONALE

C. d. L. in INGEGNERIA MECCANICA

Prof. Giovanni FROSALI

**RICHIAMI DI DINAMICA DEL PUNTO MATERIALE VINCOLATO.** Analisi del concetto di vincolo. Definizione di vincolo semplice, doppio e triplo. Introduzione delle coordinate lagrangiane nel caso di un punto. Definizione e caratterizzazione delle velocità possibili. Vincoli mobili. Velocità virtuali e velocità di trascinamento. Significato ed esempi di velocità virtuale. Esempi di vincolo semplice e doppio. Velocità virtuale di un punto vincolato ad una circonferenza con raggio mobile. Reazioni vincolari. Prima definizione di vincolo liscio. Caratterizzazione dei vincoli lisci (potenza virtuale nulla). Principio dei lavori virtuali. Teorema delle forze vive per il punto vincolato. Lavoro del vincolo mobile.

**MECCANICA DEI SISTEMI OLONOMI.** Introduzione alla meccanica dei sistemi. Sistemi olonomi. Vincoli olonomi: compatibilità ed indipendenza. Coordinate lagrangiane. Spazio delle configurazioni. Esempi di spazi delle configurazioni. Velocità possibili. Stato cinematico di un sistema olonomo. Spazio delle fasi. Spazio tangente allo spazio delle configurazioni. Velocità virtuali. Caratterizzazione degli atti di moto virtuale. Spazio normale allo spazio delle configurazioni. Ancora sullo spazio tangente e normale. Vincoli olonomi lisci. Potenza virtuale delle reazioni. Principio dei lavori virtuali. Caratterizzazione di vincoli bilateri lisci. Vincoli bilateri lisci e caratterizzazione delle reazioni. Reazioni generalizzate e forze generalizzate. Equazioni di Lagrange di I specie. Forze generalizzate. Statica dei sistemi olonomi a vincoli lisci. Esercizi sulle equazioni di Lagrange di I specie. Due punti vincolati su due guide e mantenuti a distanza costante. Equazione simbolica della statica. Statica dei sistemi rigidi. Equazioni cardinali della statica. Applicazioni del principio dei lavori virtuali. Equazione simbolica della dinamica dei sistemi. Equazioni di Lagrange di specie e loro dimostrazione. Sistemi di forze conservative e funzione Lagrangiana. Commenti sulle equazioni di Lagrange di II specie. Applicazioni del formalismo lagrangiano: il pendolo composto.

**RICHIAMI SUI MOTI OSCILLATORI.** Oscillatore armonico. Analisi qualitativa dell'oscillatore armonico. Punto di equilibrio. Centro. Punto di sella. Punti di equilibrio stabile e di equilibrio instabile. Sistemi lineari a due dimensioni. Cenno alla ricerca delle soluzioni tramite autovalori ed autovettori. Classificazione del punto di equilibrio di un sistema lineare a due dimensioni. Pozzo, sorgente, centro, nodo stabile, instabile, punto sella, fuoco stabile ed instabile. Cenno alla stabilità di sistemi non lineari. Il pendolo non lineare. Analisi qualitativa del pendolo non lineare. Diagramma nel piano delle fasi. Stabilità dei punti di equilibrio. Pendolo non lineare con attrito.

Cenno all'analisi qualitativa di sistemi di equazioni differenziali del ordine. Sistemi autonomi e non autonomi. Spazio delle configurazioni e spazio delle fasi. Scopi dell'analisi qualitativa delle equazioni differenziali. Spazio delle fasi e delle fasi esteso. Campo di direzioni. Cenno allo studio del campo delle direzioni e del flusso. Esempi: il sistema predatore-preda.

**CENNI SULLA STABILITÀ DELL'EQUILIBRIO DEI SISTEMI OLONOMI.** Definizione di stabilità e di stabilità asintotica. Definizione di instabilità. Funzione di Liapunov. Cenno ai criteri di stabilità di Liapunov.

**PICCOLE OSCILLAZIONI E MODI NORMALI.** Introduzione al problema delle piccole oscillazioni intorno ad una configurazione di equilibrio. Formulazione del problema. Punto vincolato ad una circonferenza, punto vincolato ad una ellisse. Approssimazione dell'energia cinetica e del potenziale. Forme quadratiche dell'energia e del potenziale. Lagrangiana per le piccole oscillazioni. Equazioni lineari accoppiate per le piccole oscillazioni. Cenno ai modi normali di oscillazione. Alcuni esempi. Pendoli accoppiati. Ricerca di soluzioni con la stessa frequenza. Problemi agli autovalori. Frequenze proprie di oscillazioni. Matrice modale. Coordinate normali e modi normali di oscillazione. Esempio di due punti collegate con molle, il caso del bipendolo, la molecola triatomica.

## COMPLEMENTI

### OSCILLAZIONI LIBERE E FORZATE

Oscillazioni libere unidimensionali. Oscillatore lineare con termine forzante. Discussione dell'equazione differenziale. Fenomeno di risonanza. Equazione di moto per un oscillatore smorzato. Moto oscillatorio smorzato, moto non oscillatorio. Oscillazioni forzate. Posizione del problema, ricerca di soluzioni particolari. Vibrazioni armoniche permanenti. Diagramma del ritardo di fase. Risonanza e curve di risonanza.

### RICHIAMI DI CALCOLO DIFFERENZIALI A PIÙ VARIABILI

Richiami di calcolo differenziale a più variabili. Derivabilità e differenziabilità. Gradiente e linee di livello. grad, div, rot: definizioni e proprietà. Significato di gradiente di un campo scalare. Il vettore Nabla. Campi conservativi e condizioni perché un campo sia conservativo. Flusso di un campo vettoriale e teorema di Gauss. Rotore di un campo vettoriale. Circuitazione. Teorema di Stokes. Significato di rotore. (rot)

Il titolare del corso  
(Prof. Giovanni Frosali)

**Disciplina:** S528IME **CONVERSIONE DELL'ENERGIA (c.i. INTER. TRA MACCH. E AMB.)** ING-IND/09  
**Corso di Studio:** IME IAT **Crediti:** 3 **Tipo:** A  
**Note:** pagato sul Modulo Profess  
**Docente:** SACCENTI GIULIANO 25U **Copertura:** CRETR  
**Ente appartenenza:** SERVIZI GENERALI

---

- Fonti energetiche primarie e sistemi energetici terrestri,
- Consumi e disponibilità di energia attuali e nel futuro.Influenza del fattore demografico,dell'esaurimento delle riserve terrestri di combustibili fossili e dei cambiamenti climatici causati dal loro uso.
- Gestione e costo dell'energia elettrica.Diagrammi di carico.Impianti di pompaggio,
- Funzionamento in parallelo delle unità di produzione energia elettrica, e regolazione frequenza-potenza della rete,
- Conversione dell'energia geotermica in energia elettrica.Impianti geotermoelettrici
- Energia Nucleare da fissione.Reattori Nucleari e centrali elettronucleari. Ciclo del combustibile nucleare. Problemi di sicurezza degli impianti nucleari.Reattori nucleari (attualmente oggetto di Ricerca e Sviluppo) per il prossimo futuro ( GEN III e GEN IV ),.(
- L'Idrogeno come vettore energetico. Modalità della sua preparazione e relativi costi.

**Disciplina:** N285IME **CORROSIONE E PROTEZIONE DEI MATERIALI METALLICI** ING-IND/22

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

**Note:**

**Docente:** BACCI TIBERIO P1 ING-IND/22 **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Civile

---

Corrosione a secco e corrosione a umido

Corrosione a umido. Meccanismo elettrochimico dei fenomeni di corrosione. Aspetti stechiometrici. Espressione della velocità di corrosione. Aspetti termodinamici. Diagrammi di Pourbaix. Aspetti cinetici. Sovratensione di idrogeno e d'ossigeno. Passivazione e passività. Controllo cinetico dei processi corrosivi. Leggi di funzionamento dei sistemi galvanici bielelettrodi. Sistemi polielelettrodi. Distribuzione dei processi corrosivi.

Fattori principali nei fenomeni corrosivi. Fattori relativi al materiale metallico. Fattori relativi all'ambiente. Fattori relativi sia al materiale metallico che all'ambiente.

Metodi di prevenzione e protezione. Interventi sul materiale metallico e sull'ambiente. Rivestimenti metallici e non metallici. Inibitori di corrosione. Protezione catodica. Protezione anodica.

Forme tipiche di corrosione. Corrosione uniforme. Corrosione per contatto galvanico. Corrosione in fessura. Corrosione per vaiolatura. Attacco selettivo. Corrosione intergranulare. Corrosione sotto tensione. Corrosione e fatica. Danneggiamento da idrogeno. Corrosione per turbolenza, abrasione, cavitazione. Corrosione per sfregamento.

Corrosione in ambienti particolari. Corrosione atmosferica. Corrosione in acque dolci, di mare. Corrosione delle strutture interrato. Corrosione per correnti disperse. Corrosione biologica. Corrosione in ambienti aggressivi tipici dell'industria chimica e petrolchimica.

Metodi di prova e di controllo. Prove tipo di laboratorio, di controllo e di collaudo, di servizio. Metodi elettrochimici per la determinazione della velocità di corrosione. Monitoraggio degli impianti industriali.

**Note:**

1. Considerazioni generali sui veicoli.
2. Descrizione dei principali organi costituenti l'autoveicolo.
  - 2.1. Pneumatico
    - Costituzione del pneumatico.
    - Azioni trasmesse al suolo in funzione della deformazione.
  - 2.2. Angoli caratteristici di una ruota.
  - 2.3. Sterzo.
    - Sterzata cinematica e dinamica.
    - Cinematismi di accoppiamento delle ruote.
    - Scatole di guida e servoguide.
  - 2.4. Sospensioni.
    - Modelli funzionali.
    - Caratteristiche cinematiche e dinamiche.
    - Sospensioni a ruote indipendenti e ad asse rigido.
  - 2.5. Freni
    - A disco e a tamburo.
    - Schemi funzionali ed effetti termici.
    - Correttori di frenata.
  - 2.6. Organi di trasmissione del moto alle ruote.
    - Schemi di trasmissione.
    - Frizioni, cambi, differenziali.
  - 2.7. Struttura della carrozzeria.
    - Tipologia dei telai e delle scocche.
    - Criteri generali di progetto e verifica.



**Disciplina:** P492IMEA **COSTRUZIONE DI MACCHINE (9 CFU)**  
(CORSO A)

ING-IND/14

**Corso di Studio:** IME

**Crediti:** 9 **Tipo:** A

**Note:** CORSO SDOPPIATO

**Docente:** PIERINI MARCO

P2 ING-IND/14 **Copertura:** AFF03

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

---

Progetto meccanico e relative metodologie

Considerazioni sulle verifiche a resistenza e a rigidezza

Materiali impiegati nelle costruzioni meccaniche

Progetto e verifica in condizioni di carichi statici

Progetto e verifica in condizioni di carichi affaticanti

Alcuni argomenti strutturali di interesse per le costruzioni meccaniche:

-) travi di grande curvatura

-) contatti hertziani

-) componenti in pressione

-) elementi rotanti

Elementi delle macchine:

-) collegamenti chiodati

-) collegamenti saldati

-) collegamenti per forzamento

-) incollaggi

-) progetto e verifica di perni, assi e alberi

-) collegamenti smontabili: chiavette, linguette, spine, scanalati

-) collegamenti con viti

-) viti di manovra

-) molle: barra di torsione, molla ad elica

-) ruote dentate: ruote cilindriche e coniche a denti diritti ed elicoidali, coppia vite senza fine - ruota elicoidale

-) cinghie piane, tonde, trapezoidali e poly-v, cinghie dentate

-) catene di trasmissione

-) cuscinetti di strisciamento

-) cuscinetti di rotolamento

**Disciplina:** P492IMEB **COSTRUZIONE DI MACCHINE (CORSO B)** ING-IND/14

**Corso di Studio:** **IME** **Crediti:** 9 **Tipo:** A

**Note:** CORSO SDOPPIATO

**Docente:** **NERLI GIOVANNI** FRL ING-IND/14 **Copertura:** AFF03

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

---

**Disciplina:** N273IME **COSTRUZIONE DI MACCHINE  
AUTOMATICHE E ROBOT**

ING-IND/14

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** CITTI PAOLO

P1 ING-IND/14 **Copertura:** AFF03

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

---

Durante il corso saranno trattati i seguenti argomenti:

-Principi generali della progettazione delle macchine automatiche e dei robot. Esempi ed applicazioni di "simultaneous engineering"

-Automazione semiflessibile e flessibile; circuiti di controllo

-Problemi strutturali; rigidità statica e dinamica delle macchine e degli elementi strutturali delle stesse. Analisi di alcuni tipici elementi strutturali. Modelli parametrici per il calcolo delle deformate statiche e dinamiche delle macchine automatiche e dei robot. Studio dell'instabilità dinamica nelle macchine operatrici. Smorzamento delle vibrazioni.

-Apparecchiature idrauliche e pneumatiche: componenti e circuiti. Esempi applicativi con particolare riferimento agli aspetti funzionali ed alla regolazione.

-Sistemi di attuazione del moto lineare e di rotazione: attuatori e motori elettrici; attuatori idraulici; attuatori pneumatici.

-Sensori elettrici e pneumatici; commutatori.

-Trasmissioni e collegamenti: viti a ricircolazione di sfere; slitte a strisciamento, a rotolamento, a sostentamento idrostatico.

-Alcuni esempi di macchine automatiche e di robot per specifiche applicazioni industriali.

-Collaudo e manutenzione delle macchine automatiche e dei robot

**Disciplina:** N301IME **COSTRUZIONE DI MATERIALE  
FERROVIARIO**

ING-IND/14

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** CIUFFI RENZO

P1 ING-IND/14

**Copertura:** AFF03

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

---

La ferrovia al suo nascere,evoluzione e ragioni di un successo planetario. Coefficiente di aderenza e attrito di rotolamento. Limiti e specializzazioni. Campi di utilizzazione ottimali e sistemi di trasporto analoghi. Infrastrutture necessarie: binario, scambi, linee aeree, segnalamento.

La ruota e il suo profilo, il contatto ruota rotaia. La sala montata, disegno e calcolo.

Boccole ferroviarie e relativi cuscinetti di prima, seconda e terza generazione. Affidabilità e durate di progetto dei cuscinetti.

Sistemi di guida boccole e molle relative ( a balestra, a elica cilindrica, in gomma). Smorzatori ad attrito e idraulici.

Telai dei carrelli, tipi e caratteristiche. Carrelli non convenzionali, autosterzanti, per tranvie e metropolitane.

Sospensioni primarie e secondarie. Ripartizione della rigidezza. Sospensioni secondarie con zatterino e con molle flex-coil.Sospensioni pneumatiche. Progetto delle molle a elica cilindrica. Progetto delle barre di torsione antirollio.

Progetto delle sospensioni

Dispositivi di trazione repulsione ad aggancio manuale e automatico con respingenti a molle metalliche, di gomma e idropneumatiche. Velocità di tamponamento e accelerazioni massime.

La gomma come materiale da costruzione; caratteristiche, durezza, fattore di forma e moduli di elasticità. Applicazioni e manufatti standard in gomma per impieghi ferroviari.

Struttura dei telai dei carri e delle casse delle vetture di struttura tradizionale e realizzate prevalentemente con estrusi in lega leggera. Carichi di collaudo e verifica di prima approssimazione col metodo di Engesser. Finitura e impianti di bordo.

Impostazione del calcolo del comportamento dinamico dei veicoli ferroviari (stabilità). Equazioni di equilibrio, gradi di libertà e termini relativi al contatto ruota-rotaia. Soluzioni linearizzate e numeriche. Illustrazione dei risultati.

Cenno a ferrovie a cremagliera, su ruote di gomma e non convenzionali, a trazione e sostentazione elettromagnetica

**Disciplina:** N294IME **DISEGNO ASSISTITO DAL CALCOLATORE**

ING-IND/15

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** RISSONE PAOLO

P1 ING-IND/15

**Copertura:** AFF03

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

---

Il CAD come nucleo comune alla progettazione e alla fabbricazione; strumenti e tecniche di prototipazione virtuale; impatto del "virtuale" sui processi industriali. Input e output dei sistemi di progetto avanzati: scansione tridimensionale, prototipazione rapida e loro interazioni con il CAD. Lo scambio dati tra applicazioni: formati standard e proprietari; struttura delle codifiche IGES e STL. Modellatori tridimensionali: caratteristiche generali; gestione dei solidi e delle superfici. I modellatori solidi: le procedure parametriche e variazionali; rappresentazione matematica delle curve e delle superfici. La valutazione delle prestazioni dei sistemi CAD e le tecniche di benchmarking.

Gli strumenti per la prototipazione virtuale in campo meccanico. Tecnica agli elementi finiti: matrici di massa e di rigidezza esatte ed approssimate; approccio energetico per il calcolo della rigidezza; funzioni di forma; metodo h e metodo p di

Convergenza; elementi isoparametrici; riduzione Guyana delle matrici; analisi in campo statico lineare e in campo dinamico; risposta forzata con eccitazione deterministica. Analisi dei risultati e valutazione degli errori.

Ottimizzazione della mesh e del modello.

La simulazione multibody: calcolo delle forze nei cinematismi assemblati con sistemi CAD.

**Disciplina:** P305IME **DISPOSITIVI MEDICI**

ING-IND/34

**Corso di Studio:** IME .

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

**Note:** .

**Docente:** CORVI ANDREA

P1 ING-IND/34

**Copertura:** AFF03

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

---

**Disciplina:** N170IME **ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE** ING-IND/35  
**AZIENDALE**

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

**Note:**

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

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

---

vedi ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE IGE

**Disciplina:** N238IME **ELEMENTI DI RICERCA OPERATIVA** MAT/09

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

**Note:**

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

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

---



**Note:**

---

ELETTRONICA INDUSTRIALE

Prof. Paolo Redi

Parte I

Circuiti e componenti passivi, bipoli, quadripoli, richiami di analisi delle reti elettriche, Principi di Kirchhoff. Circuiti lineari e non lineari, teoremi di Thevenin e di Norton e loro corollari. Teorema di Fourier e richiami sulla trasformata di Laplace; applicazioni in elettronica. Concetto di funzione di trasferimento. Quadripoli RC e RL integratori e derivatori approssimati: risposta in frequenza, risposta alla funzione gradino.

Parte II

Semiconduttori: struttura, drogaggio, struttura elementare del cristallo di silicio. Giunzione p-n: equazione, concetto di corrente inversa, proprietà elettriche, ottiche, magnetiche. Diodi raddrizzatori, a valanga, diodi zener, diodi di riferimento di tensione. Risposta elettro-ottica di giunzioni pn, fotodiodi, fotoconduttori, celle solari. Diodi emettitori di radiazione, diodi led, diodi laser. Teoria elementare del transistor bipolare. transistori pnp e npn. Definizioni, valori limiti, curve caratteristiche a base, emettitore comune. Funzionamento come interruttore. Transistori FET e MOS con particolare riferimento ai confronti rispetto al transistor bipolare.

Parte III

Amplificatori operazionali ideali: definizioni e proprietà. Montaggio ad amplificatore invertente, voltage follower, non invertente, sommatore invertente: impedenza d'ingresso, di uscita, guadagno. Amplificatore operazionale con montaggio derivatore ed integratore. Cenni sul calcolo operazionale e sui calcolatori analogici. Amplificatore operazionale reale: squilibrio di tensione e di corrente, corrente di polarizzazione, risposta in frequenza. Comparatore analogico, comparatore con isteresi.

Parte IV

Controllo di potenza in corrente continua: chopper, modulazione a larghezza d'impulsi (PWM); schemi di principio. Controllo di potenza in corrente alternata: controllo di fase. Applicazioni di controlli di potenza su carichi resistivi. Controllo coppia e velocità di motori elettrici a corrente continua e alternata: richiamo sui motori elettrici. Controllo di motori in corrente continua, controllo della corrente magnetizzante e della corrente di armatura. Controllo frequenza/tensione di alimentazione di motori asincroni. Componenti a tre giunzioni, SCR, GTO, TRIAC, IGBT. curve caratteristiche e definizioni.

Parte V

Elettronica non lineare, multivibratori astabili, monostabili e bistabili set-reset, trigger, JK Master-Slave: tavole della verità. Circuiti logici: AND, OR, NOT, proprietà. Proprietà e schemi delle porte logiche. Circuiti di conteggio: binario e BCD. Elementi di conversione A/D e D/A: convertitori elettromeccanici lineari e rotanti, incrementali ed assoluti. Convertitori A/D con conversione D/A ed a approssimazioni successive, convertitori a rampa, a doppia rampa. Schemi di base di convertitori D/A a reti di resistenze pesate e R-2R. Sensori (temperatura, pressione, forza).

**Disciplina:** N296IME **ENERGIE RINNOVABILI**

ING-IND/09

**Corso di Studio:** IME IAT

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

**Note:** .

**Docente:** CHIARAMONTI DAVID 25U

**Copertura:** CRETR

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

---

Il corso di Energie Rinnovabili ha lo scopo di sviluppare ed approfondire lo studio delle Fonti di Energia Rinnovabile, e delle relative tecnologie ed impianti utilizzati.

Inizialmente il corso offre una panoramica sulle diverse Fonti di Energia Rinnovabile (FER), della loro incidenza sul sistema energetico mondiale e nazionale, e sulle prospettive di sviluppo alla luce degli obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra.

Vengono analizzate in modo specifico le singole fonti, e le tecnologie connesse al loro sfruttamento.

Nel settore biomassa vengono affrontate le tematiche relative alle caratteristiche chimico-fisiche della stessa, ed alla loro influenza sulle tecnologie di conversione. Vengono quindi trattati i temi della combustione, della gassificazione e della pirolisi, e forniti cenni relativamente al processo di digestione anaerobica. Sono quindi descritti i biocombustibili liquidi ed il loro utilizzo, principalmente nel settore trasporti.

Relativamente al solare, vengono inizialmente fornite nozioni di base relative alla risorsa disponibile: le tecnologie solari vengono trattate sia per quanto riguarda la produzione di acqua calda (solare termico) che per quanto concerne la generazione di energia elettrica (sistemi fotovoltaici, e cenni ai sistemi solari termoelettrici).

Analogamente, la sezione sull'energia eolica comprende la trattazione della disponibilità della risorsa (distribuzione di Weibull) e dell'energia effettivamente estraibile. Si descrivono quindi le tipologie di macchine esistenti e le caratteristiche peculiari di ciascuna, nonché gli aspetti relativi all'impatto paesaggistico.

Nel campo Idroelettrico, analogamente, viene descritta la definizione ed il significato della Curva di Durata e degli altri elementi descrittivi del sito e della risorsa, e quindi necessari per procedere alla scelta della macchina più opportuna. Viene descritta la composizione dell'impianto idroelettrico, e quindi, con particolare attenzione al settore Minhydro, le differenti tipologie di macchine (Francis, Pelton, Kaplan, etc) sono descritte e caratterizzate.

Il corso fornisce infine cenni alle fonti geotermiche e ad altre fonti quali energia delle maree/correnti.

**Disciplina:** P497IME **EQUAZIONI DIFFERENZIALI**

MAT/05

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** ZECCA PIETRO

P1 MAT/05

**Copertura:** AFF03

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

---

Equazioni differenziali alle derivate parziali per l'ingegneria

Funzioni reali di più variabili reali; superfici in  $\mathbb{R}^3$ ; curve integrali e campi vettoriali; problema di Cauchy (1CFU)

Equazioni lineari e quasi-lineari del primo ordine; Caratteristiche per le equazioni del primo ordine; Leggi di conservazione; soluzioni per serie (1 CFU)

Equazioni differenziali della Fisica Matematica; Equazione del calore; Equazione delle onde; Equazione del potenziale. (1 CFU)

**Disciplina:** N002IME **FISICA GENERALE I**

FIS/01

**Corso di Studio:** IME

**Crediti:** 9 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** POLI MARIO

25U FIS/01

**Copertura:** CONCS

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

---

FISICA GENERALE I (Nuovo ordinamento)

Introduzione: metodo sperimentale, errori di misura, elementi di calcolo vettoriale, vettori applicati e loro momenti.

Cinematica: relatività del moto, posizione, velocità, velocità areolare, accelerazione, esempi (moto rettilineo uniforme, moto rettilineo uniformemente accelerato, moto circolare uniforme, moto armonico, moto armonico smorzato), vincoli e gradi di libertà, cinematica del corpo rigido (formula fondamentale dei moti rigidi, velocità angolare, moto traslatorio, moto rotatorio, rotolamento puro, moto rototraslatorio), cambiamento del sistema di riferimento (trasformazioni del vettore posizionale, della velocità e dell'accelerazione).

Statica: forze (misura statica delle forze, regola 1 della statica), statica del punto materiale, statica del corpo rigido (regola 2 della statica, equivalenza e riducibilità fra insiemi di forze, equazioni cardinali della statica), baricentro, vincoli e forze vincolari, esempi di vincoli ideali, attrito fra corpi solidi (radente e volvente).

Dinamica: principio d'inerzia, secondo principio della dinamica, massa e densità, quantità di moto e impulso, misura dinamica delle forze, leggi di Keplero e legge di gravitazione universale di Newton, esperimento di Cavendish e massa gravitazionale, problema fondamentale della dinamica del punto materiale con vari esempi, dinamica del punto materiale vincolato con vari esempi, sistemi di riferimento inerziali e non inerziali, forze di interazione e forze apparenti, principio di azione e reazione, principi di conservazione della quantità di moto e del momento angolare per i sistemi isolati, urti, equazioni cardinali della dinamica, centro di massa, momento angolare dei corpi rigidi, momento d'inerzia e raggio d'inerzia, dinamica dei sistemi, esempi di applicazione delle equazioni cardinali della dinamica.

Lavoro ed energia: lavoro, principio dei lavori virtuali, teorema delle forze vive, energia cinetica, equazione simbolica della statica, lavoro delle forze peso, forze posizionali e campi vettoriali, forze conservative e loro proprietà (esempi: forza costante, forza centrifuga, forze elastiche, forze e campi gravitazionali), lavoro in campi di forze non conservativi, energia potenziale ed energia meccanica, motori e potenza, statica ed energia potenziale (teorema della stazionarietà dell'energia potenziale e tipi di equilibrio, esempi di ricerca della stabilità dell'equilibrio), applicazioni del teorema della conservazione dell'energia meccanica. Pressione nei fluidi.

Termodinamica: temperatura, principio zero della termodinamica, temperatura del termometro a gas perfetto, scala di temperatura internazionale (STI), trasformazioni termodinamiche, leggi tradizionali dei gas ed 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.

**Note:**

**PROGRAMMA DETTAGLIATO**

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.

**DIELETTRICI:** 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.

**Note:**

---

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 psicrome-trico

2.75

Moto fluidi

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

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 e-NTU e DTML per dimensionamento

6

**Disciplina:** N276IME **FISIOLOGIA**

BIO/09

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** CIOCIA GRAZIANO

P3 BIO/09

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Servizi Generali

---

L'ORGANISMO NEL SUO INSIEME. Organi ed apparati. La cellula, i tessuti. La membrana cellulare. L'ambiente intra- ed extracellulare. I tessuti eccitabili. Potenziale di riposo e di azione.

IL SISTEMA NERVOSO. S.N. somatico. Funzioni motorie. Unità motoria, trasmissione sinaptica. I riflessi somatici. Funzioni sensitive. I recettori. Cenni sulle strutture encefaliche. L'elettroencefalogramma. Il S.N. vegetativo.

MUSCOLO SCHELETRICO. Struttura, elettrofisiologia, meccanica della contrazione. Accoppiamento eccitazione-contrazione.

APPARATO CARDIOVASCOLARE. Organizzazione. Il miocardio. Eventi elettrici e meccanici del ciclo cardiaco. Il cuore come pompa. La circolazione: arterie, microcircolo, vene. Cenni sui circoli distrettuali. Il controllo cardiovascolare. Il sangue.

APPARATO RESPIRATORIO. La meccanica della respirazione. Gli scambi gassosi alveolari e il rapporto ventilazione/perfusione, il trasporto dei gas. Il controllo del respiro.

LA FUNZIONE RENALE. Filtrazione, riassorbimento, secrezione. Valutazione della funzione renale. Cenni sull'emodialisi.

IL SISTEMA ENDOCRINO. Endocrinologia generale e sistematica delle funzioni controllate dagli ormoni.

**Disciplina:** N246IMEA **FLUIDODINAMICA A**

ING-IND/06

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** ARNONE ANDREA

P1 ING-IND/09

**Copertura:** AFF03

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

---

**INTRODUZIONE:** Definizione di fluido, metodo di analisi differenziale ed integrale.

**CONCETTI FONDAMENTALI:** I fluidi come continui, campi di velocità e di sforzi, viscosità, fluidi Newtoniani.

**STATICA DEI FLUIDI:** Equazioni di base, idrostatica e forze su corpi sommersi, galleggiamento e stabilità.

**METODO AI VOLUMI DI CONTROLLO, EQUAZIONI DI BASE:** Equazioni integrali di continuità, momento, energia.

**ANALISI DIFFERENZIALE DEL MOTO DEI FLUIDI:** Equazione di continuità, campo di deformazione (cinematica dei fluidi). Equazioni del momento, cenni alle equazioni di Navier-Stokes.

**FLUSSI INCOMPRESSIBILI NON VISCOSI:** Equazioni di base, Equazioni di Eulero, Equazione di Bernulli, grandezze totali.

**FLUSSI INTERNI INCOMPRESSIBILI VISCOSI:** Flussi laminari e turbolenti in tubature e perdite di carico (diagramma di Moody). Perdite concentrate e distribuite, lunghezza equivalente.

**FLUSSI ESTERNI INCOMPRESSIBILI VISCOSI:** Concetto di strato limite laminare e turbolento, spessori di spostamento e di momento. Cenni all'equazione del momento ed alla separazione. Flussi intorno a corpi, portanza, resistenza.

**FLUSSI COMPRESSIBILI:** Richiami di termodinamica, velocità del suono e coni di Mach. Equazioni di base per il caso monodimensionale, flussi di Fanno e di Rayleigh.



**Disciplina:** N246IMEB **FLUIDODINAMICA B**

ING-IND/06

**Corso di Studio:** IME BMS

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

**Note:**

**Docente:** MARTELLI FRANCESCO P1 ING-IND/08 **Copertura:** AFF03

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

---

Il corso si articola fondamentalmente nelle seguenti parti:

- una introduzione di richiamo sulle equalzioni generali di bilancio dei sistemi aperti con particolare attenzione ai sistemi fluidi, la definizione di sistema e di variabili rappresentative di sistemi e delle forme di studio dei sistemi fluidi (Euleriano/Lagrangiana);

- Flussi monodimensionali Incomprimibili, perdite di carico in reti idrauliche;

- Flussi monodimensionali Comprimibili, con attrito e/o scambio termico;

Flussi monodimensionali ad Area variabile - Ugelli, partate in funzione rapporti di pressione;

- Flussi monodimensionali no-stazionari sia comprimibili che incomprimibili, cenni e definizione dei vari casi di studio, colpo di ariete, soluzioni semplici;

-Flussi non viscosi a più dimensioni, bidimensionali fenomenologia di profili alari, cenno alle relazioni empiriche ed ai numeri dimensionali tipici;

-Flussi viscosi e Strato limite incomprimibile, cenni alla turbolenza.

## FLUIDODINAMICA INDUSTRIALE

### Programma del corso

#### Parte I: Fluidodinamica nelle macchine

##### Fenomenologia e caratteristiche della fluidodinamica dei flussi interni

- Fluidodinamica dei compressori assiali
- Fluidodinamica delle turbine assiali
- Fluidodinamica compressori e pompe centrifughe
- Fluidodinamica delle camere di combustione

##### Fenomenologia e caratteristiche dei flussi esterni

- Aerodinamica dei profili
- Aerodinamica superfici e ali portanti
- Aerodinamica dei corpi tozzi
- Aerodinamica dei veicoli

##### Cenni di aerodinamica non stazionaria

##### Elementi di Teoria della resistenza aerodinamica

#### Parte II: Fluidodinamica computazionale applicata alle macchine

##### Elementi e metodi della fluidodinamica computazionale (CFD)

- Equazioni di riferimento
- Metodi FVM e FDM
- Stabilità e metodi upwind
- Metodi "density based" & metodi "pressure correction"
- Griglie di calcolo e accuratezza della discretizzazione
- Modelli di turbolenza
- Condizioni al contorno
- Metodi stazionari e non stazionari

##### Esempi ed Applicazioni

- Caratteristiche e struttura dei codici CFD commerciali
- Applicazione per turbine multi-stadio
- Applicazione per pompe multi-stadio
- Applicazione a camere di combustione
- Aerodinamica dei veicoli
- Aerodinamica non stazionaria di stadio

**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:** N280IME **FONDAMENTI DI DINAMICA DEI ROTORI** ING-IND/13

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

**Note:** .

**Docente:** LISINI GIOVANNI GUALBERTO 25U ING-IND/13 **Copertura:** CRETR

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

---

Introduzione allo studio della Dinamica dei Rotori  
Metodi di Studio  
Richiami di meccanica delle vibrazioni (uno e più gradi di libertà)  
Modello di Jeffcott  
Modello di Stodola Green  
Metodo di Myklestad Prohl  
Problemi di instabilità  
Equilibratura dei rotori rigidi  
Macchine equilibratrici  
Vibrazioni torsionali  
Comportamento dei cuscinetti lubrificati  
Stabilità dei cuscinetti fluidodinamici  
Cenni alla stabilità dei sistemi dinamici

**Note:**

---

Il calcolatore come oggetto che permette di fare operazioni su oggetti  
Concetto di algoritmo  
La notazione dei diagrammi di flusso per la descrizione degli algoritmi  
Concetto di variabile  
Struttura a livelli di un calcolatore  
L'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  
Rappresentazione delle istruzioni – linguaggio assembler  
Linguaggio macchina  
L'architettura di un calcolatore  
Linguaggi di programmazione  
Sintassi e semantica  
Il processo di compilazione  
Il linguaggio di programmazione C  
Struttura generale di un programma C  
Strutture linguistiche per il controllo del flusso  
Tipi predefiniti del linguaggio C  
I tipi strutturati  
Sottoprogrammi  
Passaggio di parametri a una funzione C  
Regole di visibilità degli identificatori  
Passaggio di parametri per indirizzo  
Variabili globali  
Effetti laterali  
Liste collegate  
alberi binari  
visita di un albero binario  
albero binario di ricerca algoritmo di ricerca  
rappresentazione di strutture dati mediante strutture collegate  
Algoritmi di ordinamento  
Considerazioni sulla complessità degli algoritmi  
Algoritmi di ricerca in un vettore: ricerca esaustiva ricerca binaria

**Disciplina:** N262IME **FONDAMENTI DI MECCANICA DELLE VIBRAZIONI**

ING-IND/13

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** RINCHI MIRKO

P2 ING-IND/13

**Copertura:** AFF03

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

---

Fondamenti di analisi modale teorica: proprietà dei segnali analogici armonici, periodici, transienti e casuali. Concetto di contenuto in frequenza di un segnale e analisi spettrale. Cenni all'uso della Serie e della Trasformata di Fourier. Significato e problematiche riguardanti la digitalizzazione dei segnali (conversione A/D) e cenni alla Trasformata Discreta di Fourier. Aliasing e Leakage.

Introduzione ai modelli fisici, modelli matematici, modelli modali e modelli FRF.

Studio di sistemi lineari ad un grado di libertà tramite modelli semplici a parametri concentrati tempoinvarianti.

Equazioni di moto: studio del comportamento libero e forzato dei sistemi SDOF (Single Degree of Freedom).

Smorzamento viscoso e strutturale. Decremento logaritmico e metodo di mezza potenza. Funzioni di Risposta in Frequenza (FRF): calcolo e rappresentazione tramite i diagrammi di Bode e nel piano di Nyquist. Frequenza naturale, propria e di risonanza. Modelli dinamici degli accelerometri e dei sismografi come sistemi SDOF. Accelerometro piezoelettrico. Isolamento dalle vibrazioni ed efficacia delle sospensioni elastiche.

Sistemi lineari MDOF (Multi Degrees Of Freedom) con smorzamento viscoso e strutturale di tipo proporzionale e generale. Comportamento libero e forzato. Frequenze e modi propri di vibrare del sistema. Matrice modale e disaccoppiamento modale. Coordinate principali e normali. Risonanze ed antirisonanze. Smorzatore dinamico.

**Disciplina:** N001IME **GEOMETRIA**

MAT/03

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** BRAMBILLA MARIA CHIARA 25U

**Copertura:** CRETR

**Ente appartenenza:**

---

Vettori liberi ed applicati. Somma, moltiplicazione per uno scalare e relative proprietà. Dipendenza lineare, parallelismo e complanarietà. Sottospazi generati e basi. Prodotto scalare, vettoriale e misto. Proiezioni ortogonali.

Gli spazi vettoriali  $\mathbb{R}^2$ ,  $\mathbb{R}^3$ ,  $\mathbb{R}^n$ .

Matrici: operazioni e proprietà. Spazio vettoriale delle matrici. Matrici particolari. Determinante e matrici invertibili.

Sistemi lineari: generalità; struttura dello spazio delle soluzioni. Metodo di riduzione di Gauss.

Geometria analitica nel piano e nello spazio: rette, piani; condizioni di parallelismo ed ortogonalità; posizioni reciproche. Distanze.

Cambiamento di sistema di riferimento.

Applicazioni lineari: definizione, nucleo e immagine; matrice associata.

Autovalori e autovettori: definizione e ricerca. Applicazioni diagonalizzabili.

Coniche e quadriche.

**Disciplina:** N119IME **GESTIONE INDUSTRIALE DELL'ENERGIA** ING-IND/09

**Corso di Studio:** IME IAT, IGE **Crediti:** 3 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** CARNEVALE ENNIO ANTONIO P1 ING-IND/09 **Copertura:** AFF03

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

---

Cenni alla situazione energetica nazionale ed internazionale

Richiami: Fondamenti di termodinamica. Termotecnica. Scambi termici. Scambiatori di calore.

Generatori termici a tubi di fumo, tubi di acqua, ad olio diatermico, prestazioni e caratteristiche. Caldaie a recupero.

Impianti con fluidi termovettori (vapore, acqua surriscaldata, olio diatermico).

La gestione dei sistemi energetici. Tecniche di monitoraggio e controllo. Aspetti economici. Analisi dei vari costi (combustibile, mano d'opera, ammortamenti ecc.). Cenni alla manutenzione programmata.

Struttura dei consumi energetici in alcuni processi industriali (Carta, vetro, concerie, laterizi, industrial tessile).

Ottimizzazione dell'uso di energia.

Impatto ambientale dei sistemi energetici.



**Disciplina:** N298IME **IMPIANTI DI POTENZA**

ING-IND/09

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** FACCHINI BRUNO

P2 ING-IND/08

**Copertura:** AFF03

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

---

Cicli con turbina a gas e combinati, stato dell'arte e tendenze di sviluppo:

Richiami sui cicli Joule modificati; Attuali tendenze di sviluppo delle turbine a gas.

L'iniezione di vapore nei cicli STIG e Cheng e nei cicli ad aria umidificata (HAT e CHAT)

Il raffreddamento delle pale di turbina; cicli modificati e valutazione dell'uso di refrigeranti alternativi e tecnologie avanzate.

I cicli combinati gas vapore; caratteristiche del trasferimento di calore nelle caldaie a recupero; tipologie e prestazioni delle caldaie a recupero a uno o più livelli di pressione con e senza risurriscaldamento.

Il comportamento fuori progetto delle turbine a gas in configurazione singolo e multialbero. Principali sistemi di regolazione. Influenza delle condizioni ambientali sulle prestazioni degli impianti turbogas; il condizionamento dell'aria in ingresso al compressore. La regolazione negli impianti combinati gas-vapore.

Metodi di calcolo e simulazione avanzata dei sistemi energetici.

**Disciplina:** N242IME **IMPIANTI INDUSTRIALI**

ING-IND/17

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

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

**Note:**

**Docente:** **BANDELLONI MARTINO**

P1 ING-IND/17

**Copertura:** AFF03

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

---

**Note:**

---

"INGEGNERIA CLINICA" – Ing. MEC. – Nuovo Ordinamento - Programma previsto per l'A.A. 2006-2007.

INTRODUZIONE: Relazioni tra Ingegneria Clinica e Tecnologie Biomediche.

Tecnologie biomediche e immagini mediche: cenni storici, molteplicità di metodi, peculiarità.

CARATTERIZZAZIONE DEI SISTEMI DI IMMAGINE: generalità, frequenza spaziale, parametri fisici, immagini fotoniche. Discretizzazione: campionamento e quantizzazione, fattori di distorsione. Qualità di un'immagine: teoria del rilevamento del segnale, matrice stimolo-risposta, curve ROC e loro confronto, curve FROC.

TRATTAMENTO DELLE IMMAGINI NUMERICHE: obiettivi e metodi. Operazioni su immagini: puntuali, locali, geometriche, algebriche e logiche. Tecniche di modificazione dell'istogramma, equalizzazione, amplificazione della dinamica, finestra dei grigi. Filtraggi a media mobile.

FORMAZIONE DI IMMAGINI MEDICHE: emissione spontanea, interazione con energia, interazione mirata, immagini funzionali, applicazioni di interesse medico.

RADIAZIONI IONIZZANTI: sorgenti (radioisotopi e macchine radiogene), dose, valutazione della dose in radiodiagnostica, effetti, elementi di radioprotezione.

IMMAGINI A RAGGI X: generalità, sorgente, bersaglio: interazione raggi X-materia, mezzi di contrasto, recettori, immagini statiche e dinamiche. Tecniche di radiografia numerica: videoradiografia e DSA, computer radiography e digital radiography. La tomografia computerizzata: geometrie di scansione, spiral CT ed evoluzioni.

IMMAGINI RADIOISOTOPICHE: generalità, rivelatori di radiazioni, radiofarmaci. Sistemi di immagine planare: componenti e funzionamento della gamma-camera. Tomografia ad emissione di fotoni: SPECT e PET.

ESERCITAZIONI SOFTWARE al LABORATORIO

IA PARTE: Analisi dei segnali biomedici (14h).

Introduzione (2h)

Natura dei segnali biomedici (deterministici, stocastici, frattali e caotici)

Modelli CT e DT di sistemi dinamici

Segnali e sistemi dinamici: proprietà

Energia e potenza dei segnali

Autocorrelazione e autocovarianza

Modelli di sistemi dinamici tempo-invarianti (4h)

Modelli lineari

Modelli di stato e modelli ingresso-uscita

Strutture di modelli dinamici

La procedura dell'identificazione: elementi base e fasi del procedimento

Analisi dei dati

Scelta del modello

Scelta del criterio di stima

Calcolo dei parametri del modello

Verifica della bontà del modello

Metodi di stima parametrica (6h)

Principi di base

Metodi di stima "a blocchi":

Regressione lineare

Minimi Quadrati

Metodi di stima ricorsivi:

Minimi Quadrati

Stima spettrale parametrica

Confronto fra stima spettrale parametrica e non-parametrica

Identificazione di sistemi dinamici: aspetti pratici (2h)

Stazionarietà ed ergodicità  
Campionamento e quantizzazione  
Scelta della frequenza di campionamento  
Pre-trattamento dei dati  
Scelta del modello  
Scelta dell'ordine "ottimo" per il modello

**IIA PARTE:**

Analisi di immagini – ultrasuoni e risonanza magnetica (11h).

Segnali ed immagini ad ultrasuoni (6h)  
Generalità  
Generazione degli ultrasuoni  
Propagazione degli ultrasuoni  
Ecografia  
Tecniche di scansione e di visualizzazione  
La flussimetria Doppler

Immagini di risonanza magnetica (5h)  
Principi fisici  
Sequenze di eccitazione  
Agenti di contrasto  
Misure di flusso e tecniche angiografiche  
Risonanza magnetica funzionale  
Componenti HW in risonanza magnetica

**Disciplina:** S527IME **INTERAZ. TRA LE MACCH. E L'AMB. (c.i. CONVERSIONE ENERGIA)** ING-IND/09  
**Corso di Studio:** IME IAT **Crediti:** 3 **Tipo:** A  
**Note:**  
**Docente:** MANFRIDA GIAMPAOLO P1 ING-IND/08 **Copertura:** AFF03  
**Ente appartenenza:** Dip. di Energetica "S.Stecco"

---

1) Richiami sulla tipologia delle emissioni inquinanti dai sistemi di conversione dell'energia. Inquinanti primari e secondari. Inquinanti in traccia. Esame della normativa italiana ed europea sulle emissioni inquinanti, con riferimento ai valori guida per la qualità dell'aria. Emissioni caratteristiche di impianti a vapore, turbine a gas e motori volumetrici a combustione interna. Emissioni da traffico veicolare.

2) Effetto serra e contenimento delle emissioni di anidride carbonica. Dimensioni del problema. Commercio delle emissioni. Protocollo di Kyoto. Cenni alle soluzioni per la cattura e lo stoccaggio dell'anidride carbonica.

3) La misura delle emissioni gassose e di particolato. Conversione tra unità di misura volumetriche, di massa ed energetiche. Analizzatori di gas e loro principio di funzionamento. Analizzatori NDIR, FID, CL, polarografici e paramagnetici. Gascromatografo. Analizzatori FTIR e DOAS.

4) Dispersione delle emissioni gassose e di particolato. Stabilità dell'atmosfera, inversioni al suolo ed in quota. Equazioni caratteristiche della diffusione. Modelli diffusionali gaussiani, esempi applicativi. Risalita dei pennacchi. Modellistica fisica in galleria del vento.

**Disciplina:** N103IMEA **MACCHINE A**

ING-IND/08

**Corso di Studio:** **IME** IGE

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

**Note:**

**Docente:** **ARNONE ANDREA**

P1 ING-IND/09

**Copertura:** AFF03

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

---

ELEMENTI DI TURBOMACCHINE:

- Esempi di turbomacchine, triangoli di velocità, bilanci energetici, lavoro, equazione energia
- Turbomacchine multistadio, canale meridiano, scalatura aerodinamica, coefficienti di carico e portata, curve caratteristiche di stadio

COMPRESSORI ASSIALI:

COMPRESSORI CENTRIFUGHI:

TURBINE A GAS:

ELICHE:

PROPULSIONE AEREA:

TURBINE A VAPORE:

TURBINE IDRAULICHE:

POMPE:

COMBUSTIONE:

GENERATORI DI VAPORE:

**Note:**

- 
1. Elementi di Turbomacchine: Esempi di turbomacchine
    - Triangoli di velocità
    - Bilanci energetici, lavoro, equazione energia
    - Turbomacchine multistadio, canale meridiano
    - Considerazioni sulle velocità
    - Scalatura aerodinamica
    - Coefficienti di carico e portata
    - Variazioni di portata, portata massima
    - Grado di reazione
    - Scalatura dinamica, numero di Reynolds
    - Curve caratteristiche di stadio
  2. Macchine assiali
    - a. La turbina assiale a gas
      - Lo stadio di turbina
      - Turbine industriali
      - Turbine aeronautiche
    - b. La turbina a vapore - Caratteristiche del vapore
      - Campi di applicazione
      - Caratteristiche costruttive
      - Tipologia di turbine
      - Tipologia di stadi
      - Regolazione
    - c. Compressori assiali:
      - Palettature dei compressori assiali
      - Triangoli di velocità, carico, diffusione, Stallo
      - Accoppiamento stadi e caratteristiche di funzionamento
  3. Macchine Radiali
    - a. Compressori centrifughi:
      - Compressori centrifughi singolo stadio e multistadio
      - Giranti centrifughe, caratteristiche, curve di funzionamento
      - Diffusori, caratteristiche, curve di funzionamento
    - b. Turbine centripete
  4. Apparatì Propulsivi: Eliche -- Caratteristiche generali
    - Bilancio di quantità di moto
    - Rendimento di propulsione
    - Coefficienti aerodinamici
    - Curve caratteristiche
    - Generalità sulla propulsione aerea
    - Turboelica, turbofan, turbogetto
    - Tipologie, prestazioni e caratteristiche
    - Postcombustione ed inversione della spinta
    - Intakes
    - Prop-fan
  5. Macchine idrauliche
    - a. Pompe, Assiali-Centrifughe
      - Potenza e rendimenti
      - Numero di giri specifico
      - Curve caratteristiche
      - Cavitazione
    - b. Turbine idrauliche:
      - Equazione energia per macchine idrauliche
      - Potenza e rendimenti
      - Numero di giri specifico, classificazione
      - Turbine Pelton

- Turbine Francis
- Turbine Kaplan
- 6. Combustione :Richiami di chimica e termodinamica
  - Grandezze termochimiche fondamentali per le miscele di gas perfetti
  - Richiami di termodinamica, entalpie di formazione , potere calorifico
  - Classificazione dei combustibili tecnici
  - Combustibili gassosi, liquidi e solidi
  - Aspetti fluidodinamici delle fiamme
  - Fiamme premiscelate e diffusive
  - Stabilità della combustione
  - Emissioni inquinanti (incombusti, NOX, CO)
  - Unità di misura e normative
- 7. Camere di combustione TG- Cenni
- 8. Generatori di vapore
  - Classificazione generatori di vapore a tubi di fumo a tubi d'acqua
  - Circuito acqua-vapore
  - Caldaie a circolazione naturale
  - Caldaie a circolazione assistita e forzata
  - Circuito aria-fumi- · Combustione
  - Preriscaldatori dell'aria - Tiraggio
  - Esempi di generatori
  - Scambio termico nei generatori di vapore
  - Corrosione e incrostazioni
  - Emissioni inquinanti (Sox Nox articolato, CO)



**Disciplina:** N281IME **MACCHINE VOLUMETRICHE**

ING-IND/08

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** PACCIANI ROBERTO

RC ING-IND/09

**Copertura:** AFF03

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

---

**Disciplina:** N286IME **MATERIALI METALLICI**

ING-IND/21

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** PRATESI FRANCO

P2 ING-IND/21

**Copertura:** AFF03

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

---

#### STRUTTURA CRISTALLINA DEI METALLI

Reticoli. Massimo impacchettamento. Difetti, in particolare dislocazioni.

#### STRUTTURA ELETTRONICA DEI METALLI

#### PROPRIETA' MECCANICHE DEI METALLI

Deformazione dei materiali metallici. Dipendenza delle costanti elastiche dalle proprietà atomiche. Attrito interno.

Sforzo critico di taglio con e senza dislocazioni. Sistemi di scorrimento. Incrudimento in metalli mono e

policristallini. Stadi successivi nella ricottura. Orientamento preferenziale.

Rafforzamento dei metalli: dimensioni del grano, incrudimento, soluzioni solide, fasi precipitate, dispersione di ossidi.

Resilienza e tenacità.

Resistenza a creep e fatica. Creep e interpretazione microstrutturale. Leghe per alte temperature. Resistenza a fatica.

#### PRINCIPALI LEGHE FERROSE E NON FERROSE

Acciai. Classificazioni UNI e UNS. Proprietà a seconda di composizione e trattamenti. Acciai debolmente e fortemente legati. Trattamenti superficiali.

Rame. Ottoni e metallo bianco. Bronzi tradizionali e innovativi. Leghe cupronichel.

Alluminio. Proprietà e applicazioni di alluminio e leghe leggere. Leghe di Al da fonderia. Leghe leggere da incrudimento. Principali leghe di Al da invecchiamento.

Titanio. Proprietà e applicazioni di titanio e leghe. Leghe alfa, alfa-beta, e beta.

Superleghe a base cobalto e nichel. Principali caratteristiche e applicazioni.

**Corso di Studio:** IME**Crediti:** 9 **Tipo:** A**Note:****Docente:** TONI PAOLOP1 ING-IND/13 **Copertura:** AFF03**Ente appartenenza:** Dip. di Energetica "S.Stecco"

Parte prima (Prof. Toni)

Definizione di meccanismo, coppie cinematiche, coppie elementari.

Le forze di contatto nelle coppie cinematiche non lubrificate. L'attrito di strisciamento e quello di rotolamento.

L'usura e le leggi elementari (ipotesi di Reye) con applicazioni all'innesto a frizione, al pattino su superficie piana e al freno a ceppi. Il rendimento meccanico dei sistemi elementari e di quelli disposti in serie e in parallelo. Il moto retrogrado e i meccanismi ad arresto spontaneo. Applicazioni al calcolo del rendimento del piano inclinato, della guida prismatica, della coppia rotoidale e di quella elicoidale.

Cenni alle coppie cinematiche lubrificate con particolare riferimento al sostentamento dei rotori nelle turbomacchine.

Analisi cinetostatica dei sistemi articolati piani (caso ideale e reale).

I sistemi meccanici con organi flessibili: trasmissione con cinghie, paranchi ordinari e differenziali, freni a nastro.

Analisi cinematica dei sistemi articolati piani con applicazioni al quadrilatero articolato e al manovellismo di spinta (risoluzioni grafiche e analitiche).

Analisi cinematica dei meccanismi con sagome e camme (risoluzioni grafiche e analitiche).

Le ruote dentate ad evolvente a dentatura diritta: generazione dei profili, caratteristiche geometriche (continuità del moto, condizioni non interferenza). Ruote dentate elicoidali, ruote coniche. Rotismi ordinari ed epicicloidali ad uno e più gradi di libertà (il differenziale).

Analisi dinamica dei sistemi meccanici. Forze sul telaio e loro bilanciamento con particolare attenzione al manovellismo di spinta mono e pluricilindrico.

Studio di sistemi lineari ad un grado di libertà tramite modelli semplici a parametri concentrati tempoinvarianti.

Equazioni di moto: studio del comportamento libero e forzato dei sistemi SDOF (Single Degree of Freedom) con smorzamento viscoso. Decremento logaritmico. Funzioni di Risposta in Frequenza (FRF): calcolo e rappresentazione tramite i diagrammi di Bode. Frequenza naturale, propria e di risonanza.

Modelli dinamici degli accelerometri e dei sismografi come sistemi SDOF. Isolamento dalle vibrazioni ed efficacia delle sospensioni elastiche.

Parte seconda (Prof. Allotta)

Argomenti teorici

1. Metodi per la rappresentazione dell'orientazione di un corpo rigido

matrici di rotazione, angoli di Eulero, composizione di rotazioni specificate in terna fissa e in terna mobile.

2. Cinematica diretta:

Matrici di trasformazione omogenee, metodo di Denavit-Hartenberg per la modellazione cinematica di robot a catena cinematica aperta semplice.

Spazio di lavoro, spazio di lavoro destro. Spazio operativo.

3. Cinematica inversa:

Problema cinematico diretto ed inverso. Soluzione del problema cinematico inverso per robot industriali con polso sferico

4. Cinematica differenziale e statica:

Moto dell'organo terminale: velocità nello spazio operativo e screw di velocità. Jacobiano algebrico e jacobiano geometrico. Calcolo dello jacobiano. Il principio dei lavori virtuali applicato alla statica di un robot.

5. Dinamica:

Richiami sulle equazioni di Lagrange. Energia cinetica di un corpo rigido. Energia potenziale. Applicazione delle equazioni di Lagrange ad un robot industriale.

Applicazioni ed esempi:

a) uso della tecnica D-H per la modellazione cinematica di alcuni tipi di robot industriali

b) soluzione cinematica inversa di alcuni robot industriali

c) calcolo dello jacobiano per vari robot industriali

d) calcolo delle equazioni del moto per un robot planare 2R

Parte prima (Prof. Toni)

Definizione di meccanismo, coppie cinematiche, coppie elementari.

Le forze di contatto nelle coppie cinematiche non lubrificate. L'attrito di strisciamento e quello di rotolamento.

L'usura e le leggi elementari (ipotesi di Reye) con applicazioni all'innesto a frizione, al pattino su superficie piana e al freno a ceppi. Il rendimento meccanico dei sistemi elementari e di quelli disposti in serie e in parallelo. Il moto

retrogrado e i meccanismi ad arresto spontaneo. Applicazioni al calcolo del rendimento del piano inclinato, della guida prismatica, della coppia rotoidale e di quella elicoidale.

Cenni alle coppie cinematiche lubrificate con particolare riferimento al sostentamento dei rotori nelle turbomacchine.

Analisi cinetostatica dei sistemi articolati piani (caso ideale e reale).

I sistemi meccanici con organi flessibili: trasmissione con cinghie, paranchi ordinari e differenziali, freni a nastro.

Analisi cinematica dei sistemi articolati piani con applicazioni al quadrilatero articolato e al manovellismo di spinta (risoluzioni grafiche e analitiche).

Analisi cinematica dei meccanismi con sagome e camme (risoluzioni grafiche e analitiche).

Le ruote dentate ad evolvente a dentatura diritta: generazione dei profili, caratteristiche geometriche (continuità del moto, condizioni non interferenza). Ruote dentate elicoidali, ruote coniche. Rotismi ordinari ed epicicloidali ad uno e più gradi di libertà (il differenziale).

Analisi dinamica dei sistemi meccanici. Forze sul telaio e loro bilanciamento con particolare attenzione al manovellismo di spinta mono e pluricilindrico.

Studio di sistemi lineari ad un grado di libertà tramite modelli semplici a parametri concentrati tempoinvarianti.

Equazioni di moto: studio del comportamento libero e forzato dei sistemi SDOF (Single Degree of Freedom) con smorzamento viscoso. Decremento logaritmico. Funzioni di Risposta in Frequenza (FRF): calcolo e rappresentazione tramite i diagrammi di Bode. Frequenza naturale, propria e di risonanza.

Modelli dinamici degli accelerometri e dei sismografi come sistemi SDOF. Isolamento dalle vibrazioni ed efficacia delle sospensioni elastiche.

Parte seconda (Prof. Allotta)

Argomenti teorici

1. Metodi per la rappresentazione dell'orientazione di un corpo rigido

matrici di rotazione, angoli di Eulero, composizione di rotazioni specificate in terna fissa e in terna mobile.

2. Cinematica diretta:

Matrici di trasformazione omogenee, metodo di Denavit-Hartenberg per la modellazione cinematica di robot a catena cinematica aperta semplice.

Spazio di lavoro, spazio di lavoro destro. Spazio operativo.

3. Cinematica inversa:

Problema cinematico diretto ed inverso. Soluzione del problema cinematico inverso per robot industriali con polso sferico

4. Cinematica differenziale e statica:

Moto dell'organo terminale: velocità nello spazio operativo e screw di velocità. Jacobiano algebrico e jacobiano geometrico. Calcolo dello jacobiano. Il principio dei lavori virtuali applicato alla statica di un robot.

5. Dinamica:

Richiami sulle equazioni di Lagrange. Energia cinetica di un corpo rigido. Energia potenziale. Applicazione delle equazioni di Lagrange ad un robot industriale.

Applicazioni ed esempi:

a) uso della tecnica D-H per la modellazione cinematica di alcuni tipi di robot industriali

b) soluzione cinematica inversa di alcuni robot industriali

c) calcolo dello jacobiano per vari robot industriali

d) calcolo delle equazioni del moto per un robot planare 2R

**Disciplina:** N128IME **MECCANICA DEI MATERIALI**

ING-IND/14

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** REALE SERGIO

P1 ING-IND/14

**Copertura:** AFF03

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

---

· Considerazioni introduttive: Aspetti e campi di applicazione della meccanica dei materiali; la meccanica dei materiali nella valutazione della vita residua di un impianto e nella life extension.; Meccanismi di deformazione e di frattura (frattura fragile e frattura duttile):

elementi di meccanica dei continui; identificazione e caratterizzazione del comportamento dei materiali (lineare elastico, plastico, viscoplastico); la caratterizzazione dei materiali(caratteristiche intrinseche e tecnologiche)

· Meccanica della Frattura lineare elastica: ipotesi di frattura di Griffith; campodelle tensioni e deformazioni all'apice di un difetto; Stress Intensity Factor; casi ed esempi; tenacità a frattura; limiti e campi di applicazione della LEFM; applicazione alla valutazine della integrità di strutture difettate.

· Fatica e Meccanica della frattura; approccio fenomenologico; legge di Paris; esempi ed applicazioni a strutture difettate soggette a carichi variabili.

· La meccanica delle frattura e la "failure analysis" ( cenni)

· La meccanica dei materiali compositi: generalità sui materiali compositi; la meccanica del rinforzo; la Teoria classica della Laminazione; caratterizzazione delle lamine e dei laminati; ipotesi di rottura; meccanismi di danno; i sandwich; inserti ed incollaggi; compositi ceramici e metallici; tecnologie di fabbricazione di manufatti in composito

**Disciplina:** N271IME **MECCANICA DEI ROBOT**

ING-IND/13

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** ALLOTTA BENEDETTO

P1 ING-IND/13

**Copertura:** AFF03

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

---

1. Complementi di cinematica differenziale e statica

Analisi della ridondanza - Inversione della cinematica differenziale e relativi algoritmi - Ellissoidi di manipolabilità

4. Dinamica

Formulazione lagrangiana - Proprietà del modello dinamico dei manipolatori - Identificazione dei parametri dinamici - Problema dinamico diretto e problema dinamico inverso - Modello dinamico nello spazio operativo

5. Pianificazione di traiettorie

Percorso geometrico e traiettoria - Traiettorie nello spazio dei giunti - Traiettorie nello spazio operativo

6. Controllo del movimento

Controllo nello spazio di giunto - Controllo indipendente al giunto - Controllo con compensazione in avanti a coppia calcolata - Controllo centralizzato - Controllo nello spazio operativo - Confronto tra le varie tecniche di controllo

Elenco degli argomenti oggetto di esercitazioni

1. Richiami di algebra lineare

Matrici - Vettori - Trasformazioni lineari - Autovalori e autovettori - Forme bilineari e quadratiche - Pseudoinversa - Decomposizione ai valori singolari

2. Dinamica

Calcolo del modello dinamico per alcune strutture di manipolatori con il metodo di Lagrange

3. Pianificazione di traiettorie

Algoritmi di generazione di traiettorie con leggi orarie paraboliche, cubiche, quintiche, spline

4. Controllo del moto libero

Confronto tra algoritmi di controllo del movimento di tipo centralizzato e decentralizzato

**Disciplina:** N291IME **MECCANICA DEL CONTINUO**

MAT/07

**Corso di Studio:** IME MAS

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

**Note:**

**Docente:** RICCI RICCARDO

P1S MAT/07

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Servizi Generali

---

Cinematica dei sistemi continui:

Descrizione Lagrangiana e Descrizione Euleriana;  
Derivata locale e sostanziale, Equazione di continuità;  
Moti stazionari, linee di flusso e di corrente, moti solenoidali.  
Misure della deformazione.

Dinamica dei sistemi continui:

Analisi delle forze nei continui, Equazioni indefinite;  
Teorema di Cauchy.  
Equazioni di Continuità;  
Equazioni Costitutive.

I fluidi:

I fluidi perfetti, Equazioni di Eulero;  
I fluidi viscosi, Equazioni di Navier-Stokes.

Elasticità lineare.

Legge di Hooke ed elasticità lineare.

Esempi di deformazioni e soluzioni statiche

Piccoli moti elastici. Onde elastiche.

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** RINDI ANDREA

RC ING-IND/13

**Copertura:** AFF03

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

---

#### Meccanica del veicolo Stadale

##### 1. Contatto ruota strada

Modello di Coulomb

Modello a spazzola per scorrimenti longitudinali e laterali

Magic formulae; azioni longitudinali, laterali e combinate;

Influenza sulle curve di aderenza del carico verticale, angolo di campanatura, velocità, velo idrico...

##### 2. Azioni aerodinamiche

##### 3. Dinamica longitudinale

Frenatura: Trasferimento di carico. Proporzionamento dell'impianto frenante-sistemi di frenatura assistita (ABS, ESP...)

Trazione: curve di potenza, coppia e consumo specifico di un MCI

Modello a 1 Dof con modello ruota-via di Coulomb

Modello a 3 Dof con modello ruota-via di Pacejka.

Prestazioni del veicolo: massima pendenza superabile, massima velocità su strada piana, massima accelerazione su strada piana.

Cenni sulla scelta dei rapporti del cambio

##### 4. Dinamica Laterale

Sterzata cinematica

Sterzata ideale: modello semplificato a 1 Dof;

Sterzata dinamica: modello a 3 Dof; equazioni di moto generali, angoli di deriva, forze agenti sulle ruote

Stabilità direzionale: equazioni di moto linearizzate; derivate di stabilità; risposta allo sterzo; punto neutro; risposta a forze e momenti.

##### 5. Dinamica Verticale

Cenni sui vari tipi di sospensioni

Comfort: modelli a 1 Dof e 2 Dof (quarter-model) per la dinamica verticale;

Influenza delle masse sospese e non sospese

#### Meccanica del veicolo Ferroviario

##### 6. Contatto ruota-rotai

Caratteristiche del complesso ruota-rotai

Comportamento in curva: Sovralzo in curva; Svio.

**IL COEFFICIENTE DI ADERENZA IN CAMPO FERROVIARIO**

Parametri che influiscono sul coefficiente d'aderenza

Problema normale (teoria di Hertz)

Problema tangenziale (teoria lineare di Kalker, teoria di Johnson-Vermeulen, teorie euristiche)

##### 7. Armamento ferroviario

Caratteristiche principali: scartamento, angolo di posa, carico lineare, carico per asse...

Sagome limiti (veicolo linea).

Profili della ruota ferroviaria: profilo conico FS profili isoconsumo, principali caratteristiche.

Interazione ruota-rotai: conicità equivalente principali effetti sull'inserzione in curva e sulla stabilità di marcia.

##### 8. Dinamica longitudinale

Trasmissione delle forze longitudinali: cabraggio cassa e carrello.



Il freno pneumatico UIC, principali caratteristiche.  
Dispositivi antipattinanti ed antislittanti principi di funzionamento ed intervento

#### 9. Dinamica Laterale

Inserzione in curva: introduzione al concetto di accelerazione non compensata, sopra-elevazione della linea, disegno della linea, il fenomeno della soplesse, centro di rollio, pendolamento(attivo) e passivo della cassa.  
Moti di serpeggio: trattazione assile isolato (Klingel).

#### 10. Dinamica Verticale

Concetti fondamentali su assetto e sospensioni carrello: masse non sospese, semplicemente e doppiamente sospese  
esempi di soluzioni costruttive in ragioni delle diverse tipologie di veicolo e prestazioni richieste.

**Disciplina:** N447IMEA **MECCANICA RAZIONALE**

MAT/07

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** FROSALI GIOVANNI

P1 MAT/07

**Copertura:** AFF03

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

---

Visita la pagina [www.dma.unifi.it/~frosali/didattic](http://www.dma.unifi.it/~frosali/didattic)

MECCANICA RAZIONALE

C. d. L. in INGEGNERIA MECCANICA

Prof. Giovanni FROSALI

INTRODUZIONE. Che cos'è la Meccanica Razionale. I fenomeni fisici ed i loro modelli. Esempi. Analogia fra un fenomeno meccanico ed uno elettrico. Primo esempio: oscillatore forzato e circuito LRC. Cosa si intende per modello matematico. Le grandezze della meccanica: scalari, vettoriali e tensoriali.

ELEMENTI DI CALCOLO VETTORIALE. Spazio di punti, spazio di vettori geometrici (spazio vettoriale). Vettori geometrici e rappresentazione di grandezze vettoriali con vettori geometrici. Spazio affine. Vettori liberi e applicati.

Cenni riassuntivi di calcolo vettoriale e notazioni. Rappresentazione cartesiana. Prodotto scalare, vettoriale. Prodotto misto e doppio prodotto vettoriale.

TEORIA dei MOMENTI. Momento polare e momento assiale. Sistemi di vettori applicati e coppia di vettori applicati. Momento risultante di un sistema di vettori applicati. Variazione del momento al variare del centro di riduzione.

Coppia di vettori. Invariante scalare e vettoriale. Esistenza dell'asse centrale. Soluzione di e discussione. Ricerca analitica dell'asse centrale.

Equazione dell'asse centrale. Sistemi equivalenti, sistemi equilibrati.

Operazioni elementari. Esempi di riduzione di sistemi di vettori nel piano. Sistemi di vettori applicati concorrenti, paralleli, complanari. Teorema di

Varignon. Vettori paralleli, centro di vettori paralleli. Sistemi di vettori

riducibili al solo risultante applicato sull'asse centrale. Rappresentazione del campo vettoriale dei momenti. Esercizi di calcolo di asse centrale. Ricerca

dell'asse imponendo il parallelismo fra  $\vec{e}_1$  ed  $\vec{e}_2$ . Alcuni esercizi grafici (spostamento di un vettore, decomposizione su tre direzioni, ecc.)

ELEMENTI DI STATICA DEL CORPO RIGIDO. Terminologia. Sistemi rigidi liberi e vincolati. Gradi di libertà. Equazioni cardinali della statica. Sistemi

materiali piani. Esempi. Principali tipi di vincolo nel piano. Vincolo semplice, cerniera, incastro. Posizione del problema statico: problema labile, isostatico e iperstatico. Sistemi staticamente determinati. Vincoli efficaci. Alcuni esempi di sistemi piani. Problemi di statica per sistemi formati da un solo corpo rigido. Problemi di statica per sistemi formati da più corpi rigidi. Arco a tre cerniere. Cenni sull'analisi interna delle strutture, diagrammi dello sforzo normale, taglio e momento flettente. Cenni di statica grafica. Metodi di composizione e scomposizione di vettori.

Poligono funicolare. Osservazioni sul poligono funicolare. Poligoni condizionati e condizioni grafiche per l'equilibrio.

Alcuni esempi di risoluzione grafica: trave orizzontale ed obliqua, trave incastrata, arco a tre cerniere con carichi concentrati e distribuiti. Strutture reticolari, equilibrio ai nodi, metodo di Ritter.

CINEMATICA DEI SISTEMI RIGIDI. Definizione di sistema rigido. Gradi di libertà.

Sistemi di riferimento fisso e solidale. Configurazione di un sistema rigido.

Trasformazioni rigide. Trasformazioni lineari ortogonali. Trasformazione del piano in sé. Rotazione del piano e matrice di rotazione. Esempi. Gli angoli di

Eulero. Ancora sugli angoli di Eulero. Trasformazioni ortogonali e loro

rappresentazione con parametri angolari. Formule di Poisson. Espressione di  $\omega$  in funzione di una coordinata angolare.

Caratteristiche di un moto rigido. Calcolo di  $\omega$  in alcuni casi, regola pratica per i moti piani. Relazione fondamentale tra le velocità simultanee di due punti. Velocità ed accelerazione dei punti di un sistema rigido in moto. Introduzione all'asse istantaneo di moto. Asse istantaneo di moto. Rigata fissa e rigata mobile. Rigate di un moto rigido. Esistenza e ricerca analitica dell'asse istantaneo di moto. Esempio di un disco che rotola senza strisciare. Rotolamento senza e con strisciamento di un disco su una guida rettilinea. Moti rigidi particolari: traslazioni, rotazioni, precessioni. Velocità del centro istantaneo di moto, relativa, assoluta e di trascinamento. Moti rigidi piani. Polari di un moto rigido piano.

Centro istantaneo di moto nei moti rigidi piani. Teorema di Chasles. Esempi di moto rigido piano. Moto di una asta rigida con gli estremi su due guide ortogonali. Ricerca del centro istantaneo di moto e delle polari di moto. Esercizi su base e rulletta. Asta su una guida circolare, appoggiata ad un disco. Oscillografo. Ricerca di base e rulletta per un sistema composto da un disco a contatto con un piano inclinato in movimento. Altri esercizi per la ricerca di base e rulletta per moti rigidi piani. Coppia di dischi a contatto di cui uno su un piano inclinato. Richiami di cinematica

relativa. Moto relativo e moto di trascinamento. Teorema fondamentale della cinematica relativa. Teorema di Coriolis. Derivata assoluta e relativa. Moto uniforme di un punto su una guida ruotante. Esempi per mostrare l'effetto della accelerazione di Coriolis. Composizione di moti rigidi. La composizione di moti rigidi è ancora un moto rigido. Composizione di rotazioni. Coni di Poinsot. Composizione di rotazioni. Il differenziale. Esempi di composizioni di moti rigidi: il tecnigrafo. Moti epicicloidali e ipocicloidali. Esercizio della ruota, con una seconda ruota in moto relativo. Calcolo del centro istantaneo di moto e base e rulletta del moto.

**TEOREMI GENERALI SUI SISTEMI DI PUNTI MATERIALI.** Classificazione delle forze: forze interne ed esterne, forze attive e reazioni vincolari. Equazioni cardinali della dinamica e loro derivazione. Centro di massa e proprietà. Teorema del moto del centro di massa. Commenti sulle equazioni cardinali della dinamica. Equazioni cardinali della statica. Caso dei sistemi rigidi. Sistemi composti da più parti rigide. Questioni energetiche. Sistemi di forze conservative. Ancora sulle equazioni cardinali della dinamica. Sistemi rigidi o sistemi composti da parti rigide. Ancora sulle questioni energetiche. Potenziale di sistemi conservativi di forze interne e di forze esterne. Quantità meccaniche. Energia cinetica e potenziale. Conservazione dell'energia meccanica.

**GEOMETRIA E CINEMATICA DELLE MASSE.** Introduzione alla geometria delle masse. Centro di massa e sue proprietà, momenti statici. Esempi di calcolo del centro di massa. Momenti di secondo grado (rispetto ad un punto, ad una retta, ad un piano) e momenti centrifughi. Teorema di Huygens (o del trasporto). Dimostrazione nel caso di momento d'inerzia rispetto ad un punto, una retta ed un piano e di un momento centrifugo. Applicazione diretta e inversa del teorema del trasporto. Determinazione di momenti d'inerzia (asta, lamina rettangolare, quadrato, parallelepipedo). Struttura di inerzia di un sistema. Espressione del momento d'inerzia rispetto ad una retta generica di coseni. Matrice di inerzia. Costruzione dell'ellissoide di inerzia. Ellissoide di inerzia. Assi principali di inerzia e forma canonica dell'ellissoide d'inerzia. Richiami sul teorema spettrale per applicazioni lineari simmetriche. Matrice o tensore d'inerzia. Direzioni principali d'inerzia: autovettori e autovalori della matrice d'inerzia. Ricerca del sistema di riferimento principale. Esempi ed esercizi. Ricerca degli assi principali in una lamina rettangolare e di una lamina quadrata. Proprietà geometrico-materiali degli assi principali di inerzia. Determinazione della terna principali per alcuni sistemi piani. Proprietà di stazionarietà degli assi principali. Esempi: sistemi piani, lamina quadrata e rettangolare. Disco e semidisco. Quadrato e mezzo quadrato. Il caso dei sistemi rigidi. Espressione di  $T$ , tramite la matrice d'inerzia. Teorema di König. Dimostrazione. Cinematica delle masse. Quantità di moto e momento della quantità di moto. Moto relativo al centro di massa e teorema del centro di massa. Energia cinetica. Calcolo di  $T$  nel caso di sistemi rigidi.

**IL FORMALISMO LAGRANGIANO.** La Lagrangiana. Equazioni di Lagrange in forma conservativa. Applicazioni del formalismo lagrangiano. Caso non conservativo. Il caso del punto libero nello spazio. Commenti sulle equazioni di Lagrange di II specie. Moto piano in coordinate polari. La macchina di Atwood. Integrali primi di moto.

**MECCANICA DEI SISTEMI RIGIDI.** Sistemi rigidi liberi. Precessioni. Equazioni di Eulero. Precessioni per inerzia. Integrali primi di moto. Moto alla Poinsot. Proprietà dinamiche degli assi principali d'inerzia. Stabilità degli assi permanenti di rotazione. Cenno alla rotazione intorno ad un asse fisso. Analisi del momento delle reazioni.

Il titolare del Corso  
(Prof. Giovanni Frosali)

**Disciplina:** N279IME **MECCANICA SPERIMENTALE**

ING-IND/14

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** REALE SERGIO

P1 ING-IND/14

**Copertura:** AFF03

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

---

Valutazione del comportamento meccanico strutturale di organi o componenti di macchine

La tecnica estensimetrica: la misura delle deformazioni, gli estensimetri elettrici a resistenza; tipi di estensimetri elettrici e loro modalità di scelta; installazione degli estensimetri elettrici, ponte di Wheastone; strumentazione; normative per la utilizzazione degli estensimetri elettrici, analisi dei risultati delle misure con estensimetri elettrici.

Valutazione della difettosità in organi o componenti di macchine: i controlli non distruttivi;

Il metodo ultrasonoro: gli ultrasuoni, le sonde; la catena di misura per i rilievi con ultrasuoni; calibrazione, esecuzione dei rilievi; identificazione, caratterizzazione, localizzazione e dimensionamento di un difetto; interpretazione dei risultati; prescrizioni per la accettazione / rigetto di una struttura difettata.

---

0 Introduzione al corso

- 0.1 Meccatronica: una parola brutta ma efficace
- 0.2 L'approccio meccatronico alla progettazione
- 0.3 Meccatronica nei prodotti e nei sistemi

1 Elementi di Teoria dei Segnali

- 1.1 Segnali analogici e digitali
- 1.2 Quantizzazione e campionamento

2 Elementi di Elettronica Applicata

- 2.1 Il diodo
- 2.2 Amplificatori
- 2.3 Impedenza d'ingresso e impedenza d'uscita
- 2.4 Amplificatori operazionali

3 Cenni sulla caratteristiche metrologiche dei sensori

- 3.1 Retta di taratura
- 3.2 Incertezza di taratura
- 3.3 Sensibilità (sensitivity)
- 3.4 Linearità (linearity)
- 3.5 Risoluzione (resolution)
- 3.6 Ripetibilità (repeatability)
- 3.7 Isteresi (hysteresys)
- 3.8 Accuratezza (accuracy)
- 3.9 Stabilità (drift)

4 Sensori utilizzati nel controllo d'asse

- 4.1 Encoder incrementale
- 4.2 Encoder assoluto
- 4.3 Dinamo tachimetrica
- 4.4 Potenzziometro (servopotenziometro)
- 4.5 Resolver

5 Sensori di forza estensimetrici

- 5.1 Calcolo dello sbilanciamento in un ponte di Wheatstone
- 5.2 Collocazione e collegamento degli estensimetri
- 5.3 Sensori a più componenti
- 5.4 Tipologie di sensori di forza utilizzati in robotica
- 5.5 Un esercizio

6 Motore brushed DC

- 6.1 Modello matematico del motore DC a magneti permanenti
- 6.3 Motore pilotato in tensione
- 6.4 Equivalenza tra  $k_e$  e  $k_t$
- 6.5 Funzione di trasferimento approssimata per il motore DC pilotato in tensione

7 Motore brushless DC

- 7.1 Generalità sul motore brushless DC
- 7.2 Pilotaggio del motore brushless DC
  - 7.2.1 Pilotaggio ad onda quadra
  - 7.2.2 Pilotaggio sinusoidale

8 Motori a passi

9 Modellazione del riduttore e del carico 58

- 9.1 Riduzione dell'inerzia e dell'attrito motore all'asse lento
- 9.2 Un criterio di ottimizzazione del rapporto di riduzione
- 9.3 Effetto dell'eccentricità del volano in gravità
  
- 10 Azionamenti DC
  - 10.1 Azionamenti DC per pilotaggio in corrente
  - 10.2 Azionamenti DC per pilotaggio in tensione
  - 10.3 Azionamenti lineari e PWM
  
- 11 Alimentatori non stabilizzati per azionamenti DC
  - 11.1 Trasformatore
  - 11.2 Raddrizzatore
  
- 12 Circuiti integrati per il controllo d'asse
  - 12.1 Pianificazione della traiettoria desiderata con profilo di velocità trapezoidale
  
- 13 Tipi di riduttori maggiormente utilizzati nei controlli d'asse
  - 13.1 Riduttori Harmonic Drive
  - 13.2 Riduttori cicloidali
  
- 14 Cenni sull'uso del regolatore PID per il controllo d'asse
  - 14.1 Dinamica del sistema
  - 14.2 Criteri di progetto del regolatore PD
  - 14.3 Uso del termine integrale
  - 14.4 Controllo PD con compensazione in avanti (feedforward)

**Disciplina:** N687IME **MISURE E DIAGNOSTICA INDUSTRIALE**

ING-IND/14

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** REALE SERGIO

P1 ING-IND/14

**Copertura:** AFF03

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

---

Organizzazione di una catena di misura; segnali analogici e digitali; elementi di una catena di misura: sensore, trasduttore, convertitore A/D, condizionamento, elaborazione, visualizzazione di un segnale.  
Esempi di sensori e trasduttori (principi di funzionamento, criteri di utilizzazione e di scelta);  
impiego e prestazioni di uno strumento; taratura di uno strumento; conversione A/D.  
Elementi di base per la analisi di un segnale.  
Errori sperimentali ed elementi di base per la elaborazione dei dati sperimentali.  
Organizzazione di una misura.  
Esempi di monitoraggio e di diagnostica.

**Note:**

Concetto di media e di varianza. Distribuzione di probabilità. Errori casuali e bias, classificazione e valutazione degli errori di misura. La propagazione dell'errore nelle misure non ripetitive. Esempi applicativi.

Analisi dei campioni digitali. Costruzione della media e del valore rms della fluttuazione. Spettri di potenza.

Autocorrelazione di un segnale. Analisi bicanale: spettri e correlazioni incrociati. Significato fisico dell'analisi spettrale. Filtri analogici e digitali.

Richiami di concetti da altri corsi in termini di:

- Nozioni di estensimetria: Misure di forza, spostamenti e deformazioni.
- Misura della coppia
- Misure di deformazione, sforzi e tensioni
- Misure di velocità e accelerazioni
- Rumore

Sistemi di misura e misure di:

Pressione: Esecuzione delle prese, influenza delle linee di trasmissione. Manometri e trasduttori.

.Minimizzazione dell'errore di misura. Sensori di temperatura: termocoppie, termoresistenze, termistori.

Portata: contatori, dispositivi a strozzamento, sensori magnetici, ad ultrasuoni, ad effetto Coriolis, vortex-shedding.

Velocità/turbolenza: sonde pneumatiche, anemometria a filo caldo, velocimetria laser.; tecniche descrittive della turbolenza.

Utilizzo di strumenti elettrici comuni di misura: voltmetri digitali, oscilloscopi, filtri, generatori di segnali, ponti estensimetrici, frequenzimetri

Criteri di similitudine per l'analisi delle prove e la riduzione a condizioni standard dei risultati nonche i criteri base e le normative, ove reperibili, per il loro collaudo di:

Pompe: circuiti di prova; determinazione delle prestazioni; prove di cavitazione; spinte assiali, problemi e collaudo.

Compressori: circuiti e definizione delle classi di prova, problemi e collaudo.

Turbine a vapore: problemi e collaudo.

Gruppi turbogas: problemi e collaudo.

Motori a combustione interna alternativi problemi e collaudo

Generatori di vapore e caldaie a recupero: Determinazione del rendimento. Metodi diretti ed indiretti. Stima delle perdite. Problemi e collaudo

Generici Impianti termo-fluido-meccanici di servizio: Problemi e collaudo



**Disciplina:** N282IME **MOTORI PER AUTOVEICOLI**

ING-IND/08

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** FERRARA GIOVANNI

RC ING-IND/09

**Copertura:** AFF03

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

---

I principali argomenti trattati nel corso sono:

- Campi d'impiego dei motori, parametri caratteristici, grandezze geometriche e cinematiche.
- Grandezze indicate, parametri caratteristici, curve caratteristiche, accoppiamento del motore all'utilizzatore, integrazione motore-veicolo.
- Fattori che influenzano il riempimento - fasatura delle valvole nei 4T – cenni al lavaggio del motore 2T.
- La regolazione della potenza. Panoramica sui principali sistemi di alimentazione per motori ad accensione comandata e Diesel: carburatore elementare, iniezione indiretta e diretta del combustibile.
- Fenomenologia della combustione nei motori ad accensione comandata e spontanea. Combustioni anomale.
- La formazione degli inquinanti in un motore. Principali metodologie di contenimento e abbattimento.

Analisi delle prestazioni in termini di:

rapporto di compressione, anticipo accensione, durata combustione, parzializzazione

**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) La Trasformata di Laplace

Introduzione. Definizione della trasformata di Laplace. Proprietà della trasformata di Laplace. Linearità. Scaling.  
Traslazione nel tempo. Traslazione in frequenza. Derivata rispetto al tempo. Integrazione nel tempo. Derivata rispetto alla frequenza. Periodicità nel tempo. Valori iniziali e finali. Trasformate notevoli. Antitrasformata di Laplace. Poli semplici. Poli multipli  
Poli complessi. Applicazione alle equazioni integro differenziali. Modelli di elementi circuitali. Analisi dei circuiti.  
Funzione di trasferimento ( cenni ). Cenni della serie di Fourier. Potenza in regime distorto.

#### 9) 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; rotore avvolto e rotore a gabbia di scoiattolo; circuito equivalente; caratteristica meccanica. Il motore asincrono monofase.

Macchina sincrona: funzionamento a vuoto ed a carico; modelli di Behn-Eschenburg e di Poitier; potenza e coppia.  
Motore sincro come condensatore rotante.

Macchina in corrente continua: generalità, collettore a spazzole ed anelli; reazione d'indotto; caratteristica meccanica con eccitazione serie, parallelo e indipendente.

#### 10) Impianti elettrici

Legislazione. Normativa italiana ed europea. Legge 46/90.  
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:** P498IME **QUALITA, AFFID. E SICUREZZA DELLE** ING-IND/14  
**COSTRUZ. MECCANICHE**

**Corso di Studio:** IME **Crediti:** 6 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** CITTI PAOLO P1 ING-IND/14 **Copertura:** AFF03

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

---

Nella progettazione delle costruzioni meccaniche, sono tre gli aspetti fondamentali di cui l'ingegnere, oggi, deve tenere conto:

- La qualità
- L'affidabilità
- La sicurezza

Qualità, Affidabilità e Sicurezza sono materie strettamente connesse in quanto l'assenza di non conformità nel prodotto, obiettivo primo di ogni Sistema di Qualità, significa assenza di guasti, caratteristica di un prodotto affidabile, che soddisfa il cliente e limita i rischi connessi al malfunzionamento del prodotto, rendendolo sicuro.

Qualità significa prima di tutto soddisfazione del cliente, ma anche progettazione nell'ottica del miglioramento continuo dei processi aziendali

Il corso tratta quindi:

- La storia della qualità
- La garanzia e la certificazione della qualità:ISO 9000
- L'analisi della qualità
- Premi e modelli di eccellenza:EFQM, Deming, Baldrige
- Il miglioramento della qualità:Sei Sigma, Robust Design

Sia le normative che i modelli di eccellenza sottolineano l'importanza in un sistema di qualità dell'approccio per processi e del miglioramento continuo; in questa ottica sono fondamentali:

- Gli strumenti della qualità
- Strumenti per la misura del processo (Istogramma e diagramma di Pareto, QFD, etc.)
- Strumenti per l'analisi del processo (Capacità del processo,
- Strumenti per il miglioramento e il controllo del processo (carte di controllo,...)

L'affidabilità è la probabilità che un prodotto sia funzionante dopo un certo periodo di tempo; è quindi un concetto strettamente legato al guasto e ha conseguenze sia dal punto di vista della qualità, in quanto il malfunzionamento del prodotto implica l'insoddisfazione del cliente, che della sicurezza, perché un prodotto con una bassa affidabilità può generare rischi per l'utilizzatore.

L'affidabilità come scienza si è sviluppata grazie alla statistica, necessaria per la valutazione numerica della probabilità di guasto (inaffidabilità) di un prodotto a partire dai dati raccolti.

Il corso tratta quindi:

- Analisi affidabilistica:le funzioni Affidabilità  $R(t)$  e Inaffidabilità  $F(t)$ ; densità di guasto  $f(t)$  e tasso di guasto  $I(t)$ ;
- Andamento del tasso di guasto nel tempo: le curve Bath tub ; MTTF, MTBF e tempo di missione; Densità di probabilità di guasto: Distribuzione normale (di Gauss), Distribuzione esponenziale, Distribuzione di Weibull;
- Campionamento nel caso di distribuzione normale, esponenziale e di Weibull;
- Affidabilità dei sistemi: Dal prodotto al sistema: schematizzazione dei sistemi mediante diagrammi a blocchi; affidabilità dei sistemi in serie, in parallelo e in stand-by; Teorema di Bayes

Nell'ottica del Design for Reliability (Progettazione per l'affidabilità) il corso tratta:

- Progettazione dell'affidabilità del prodotto: Tecniche FMEA e FMECA
- Analisi preventiva dell'affidabilità di un sistema meccanico: FTA
- Probabilistic Design
- Sperimentazione prototipi (prove accelerate)

Il corso tratta inoltre la Sicurezza da due punti di vista:

- Sicurezza delle macchine: Direttive sociali e di prodotto, Direttiva Macchine e marcatura CE (Manuale di Istruzioni, Analisi dei rischi delle macchine)
- Sicurezza negli ambienti di lavoro: 626

Programma del corso di Scienza delle Costruzioni  
Ingegneria Meccanica – Nuovo Ordinamento  
Prof. Paolo Maria Mariano

1. RICHIAMI DI CINEMATICA E STATICA DEI SISTEMI ARTICOLATI DI CORPI RIGIDI.

- 1.1 Corpi rigidi e cambiamenti di assetto: cinematica.
- 1.2 Vincoli e classificazione cinematica dei sistemi articolati di corpi rigidi.
- 1.3 Equazioni di bilancio per sistemi articolati di corpi rigidi. Riduzione di sistemi di forze. Caratterizzazione statica dei vincoli.
- 1.4 Dualità statica-cinematica.
- 1.5 Caratteristiche della sollecitazione e determinazione dei relativi diagrammi.
- 1.6 Principio dei lavori virtuali per sistemi articolati di corpi rigidi.

2. INTRODUZIONE ALLA MECCANICA DEI CORPI DEFORMABILI.

- 2.1 Corpi: morfologia e configurazioni.
- 2.2 Misura delle deformazioni finite: tensore destro di Cauchy-Green.
- 2.3 Linearizzazione: misura delle deformazioni infinitesime.
- 2.4 Valori e direzioni principali di deformazione.
- 2.5 Congruenza delle deformazioni.
- 2.6 Interazioni. La tensione: lemma e teorema di Cauchy.
- 2.7 Valori e direzioni principali del tensore della tensione.
- 2.8 Bilancio delle forze e dei momenti: formulazione integrale ed equazioni puntuali.
- 2.9 Principio dei lavori virtuali per corpi deformabili: esistenza del lavoro interno.
- 2.10 Introduzione al problema della determinazione dei legami costitutivi.

3. TEORIA DELL'ELASTICITÀ LINEARE.

- 3.1 Materiali iperelastici: legame costitutivo elastico lineare con particolare riferimento ai materiali (iper)elastici omogenei ed isotropi.
- 3.2 Teorema di Betti.
- 3.3 Teorema del minimo dell'energia potenziale.
- 3.4 Teorema di unicità di Kirchhoff.
- 3.5 Equazioni di Navier.
- 3.6 Equazioni di Beltrami-Mitchell.
- 3.7 Il problema di de Saint Venant.
  - 3.7.1 Determinazione della tensione normale.
  - 3.7.2 Trazione semplice.
  - 3.7.3 Flessione semplice.
  - 3.7.4 Tenso-flessione retta.
  - 3.7.5 Tenso-flessione deviata.
  - 3.7.6 Taglio: teoria di Jourawsky.
  - 3.7.7 Torsione. Teoria di Bredt.

4. SCHEMI MONODIMENSIONALI DI TRAVI.

- 4.1 Il modello di Timoshenko.
- 4.2 Il modello di Bernoulli.

5. SISTEMI IPERSTATICI DI TRAVI. IL METODO DELLE FORZE.

6. L'INSTABILITÀ EULERIANA.

7. CRITERI DI RESISTENZA (Tresca, Beltrami, Huber-von Mises-Hencky).

**Disciplina:** N287IME **SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI**

ING-IND/22

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** PRADELLI GIORGIO

25U ING-IND/22

**Copertura:** CONCS

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Civile

---

Introduzione alla Scienza dei Materiali. Classificazione dei materiali.

Legami atomici e molecolari. Solidi ionici, covalenti, metallici e molecolari.

Struttura a bande dei solidi. Proprietà ottiche ed elettriche.

Celle elementari e reticoli cristallini. Principali strutture cristalline dei metalli e dei ceramici.

Difetti cristallini.

Solidificazione. Cinetiche di nucleazione ed accrescimento.

Soluzioni solide e composti.

Diffusione atomica nei solidi. Trattamenti di diffusione. Trasformazioni di fase non-diffusive.

Metodi di analisi e di determinazione della microstruttura.

Comportamento meccanico dei materiali metallici.

Meccanismi di deformazione elastica e plastica. Incrudimento, ricupero e ricristallizzazione. Rafforzamento dei materiali metallici.

Duttilità, durezza, tenacità e resilienza. Rottura fragile e rottura duttile; rottura a fatica e creep.

Materiali metallici.

Lavorazione e proprietà meccaniche dei materiali metallici.

Acciai al carbonio. Acciai legati. Acciai inossidabili.

Leghe leggere. Indurimento per precipitazione.

Corrosione e protezione dei materiali metallici.

Materiali ceramici.

Classificazione e caratteristiche. Proprietà meccaniche dei materiali ceramici. Silicati. Materiali ceramici tradizionali: laterizi, ceramiche e refrattari. Vetri. Ceramici avanzati. Tecnologie di fabbricazione.

Materiali polimerici.

Classificazione e caratteristiche. Struttura e proprietà. Temperatura di transizione vetrosa.

Materiali compositi.

Classificazione e proprietà. Matrici e materiali di rinforzo.

**Disciplina:** N052IMEA **SISTEMI ENERGETICI A**

ING-IND/09

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** FACCHINI BRUNO

P2 ING-IND/08

**Copertura:** AFF03

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

---

## SISTEMI ENERGETICI

Raggruppamento Scientifico Disciplinare: ING-IND 08/09 (VECCHIO I04B/C)

CLASSE: Ingegneria Industriale

Anno di corso: secondo

Richiami di fluidodinamica

Bilanci di massa, energia e quantità di moto per un sistema fluido. Definizione di grandezze totali

Lo scambio energetico nelle schiere delle turbomacchine

Definizione dei triangoli di velocità; espressione di Lavoro, Potenza e Rendimento per le turbomacchine. Esempi applicativi.

Lo scambio energetico negli stadi delle turbomacchine

Rappresentazione sui piani H/S. Definizione di grado di reazione. Effetto delle perdite. Teoria della similitudine e mappe di funzionamento. Esempi applicativi.

Macchine Idrauliche

Cenni alle principali tipologie di impianto idraulico. Macchine idrauliche motrici ed operatrici. Curve caratteristiche e cenni alla regolazione. La cavitazione

Termodinamica dei Sistemi Energetici

Brevi richiami di termodinamica sono previsti all'inizio dei successivi moduli.

Impianti motori a vapore e cicli frigoriferi

Cicli a vapore semplici e perfezionati. Rigenerazione. Componenti: condensatori, scambiatori a superficie ed a miscela, torri di raffreddamento, generatori di vapore. Cenni alle problematiche di impatto ambientale. Regolazione. Cicli frigoriferi a compressione semplici e perfezionati. Cicli frigoriferi ad assorbimento. Caratteristiche e compatibilità ambientale dei fluidi frigoriferi.

Impianti motori con turbine a gas

Ciclo semplice. Rigenerazione e miglioramento del ciclo Mappe di prestazioni e regolazione. Camere di combustione e refrigerazione delle parti calde. Tendenze di sviluppo. Cenni alle problematiche di impatto ambientale.

Motori a combustione interna alternativi.

Ciclo ideale e ciclo limite per accensione comandata e spontanea a quattro tempi. Ciclo reale e prestazioni. Cenni alle problematiche di impatto ambientale.

Cogenerazione e cicli combinati

Vantaggi termodinamici, della cogenerazione: parametri di analisi e cenni normativi sulla cogenerazione. Impianti cogenerativi con turbine a vapore, a gas e con motori termici volumetrici.

Cicli combinati gas-vapore Principi di funzionamento e tipologie.

Esercitazione Valutazione delle prestazioni di un sistema energetico

Totale crediti: 6



**Disciplina:** N052IMEB **SISTEMI ENERGETICI B**

ING-IND/09

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** MANFRIDA GIAMPAOLO

P1 ING-IND/08

**Copertura:** AFF03

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

---

## SISTEMI ENERGETICI

Raggruppamento Scientifico Disciplinare: ING-IND 08/09

Situazione energetica nazionale ed internazionale. Problematiche ambientali.

Termodinamica dei Sistemi Energetici: brevi richiami di termodinamica con applicazioni.

Impianti motori a vapore. Cicli a vapore semplici e perfezionati. Rigenerazione. Componenti: condensatori, scambiatori a superficie ed a miscela, torri di raffreddamento, generatori di vapore. Regolazione.

Cicli frigoriferi a compressione semplici e perfezionati. Cicli frigoriferi ad assorbimento. Caratteristiche e compatibilità ambientale dei fluidi frigoriferi.

Impianti motori con turbine a gas. Ciclo semplice. Rigenerazione e miglioramento del ciclo. Mappe di prestazioni e regolazione. Camere di combustione e refrigerazione delle parti calde. Tendenze di sviluppo.

Motori a combustione interna alternativi. Ciclo ideale e ciclo limite per accensione comandata e spontanea a quattro tempi. Ciclo reale e prestazioni.

Cogenerazione e cicli combinati. Vantaggi termodinamici della cogenerazione: parametri di analisi e cenni normativi. Impianti cogenerativi con turbine a vapore, a gas e con motori termici volumetrici. Cicli combinati gas-vapore Principi di funzionamento e tipologie.

Richiami di fluidodinamica Bilanci di massa, energia e quantità di moto per un sistema fluido.

Definizione di grandezze totali. Lo scambio energetico nelle schiere delle turbomacchine. Definizione dei triangoli di velocità; espressione di Lavoro, Potenza e Rendimento per le turbomacchine. Esempi applicativi.

Rappresentazione sul piano h-s dello scambio energetico negli stadi delle turbomacchine. Definizione di grado di reazione. Effetto delle perdite. Teoria della similitudine e mappe di funzionamento.

Macchine Idrauliche. Cenni alle principali tipologie di impianto idraulico. Macchine idrauliche motrici ed operatrici. Curve caratteristiche e cenni alla regolazione. La cavitazione.

Totale crediti: 6

**Disciplina:** N263IME **SISTEMI INTEGRATI DI PRODUZIONE**

ING-IND/16

**Corso di Studio:** IME IGE

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

**Note:**

**Docente:** **BEDINI RAFFAELE**

P2 ING-IND/16

**Copertura:** AFF03

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

---

L'evoluzione della Tecnologia meccanica: il Controllo Numerico delle Macchine Utensili. Struttura delle m. ut a CNC e dei loro controlli; i trasduttori e gli attuatori sulle macchine. La programmazione diretta EIA/ISO, la programmazione facilitata, la programmazione automatica. Dall'APT agli attuali CAM. L'integrazione CAD/CAM ; strutture processor-post processor. Architetture dei Centri di lavoro e dei Centri di tornitura. L'alta velocità: problematiche tecnologiche, meccaniche, ed elettroniche. I robot industriali nelle officine meccaniche: alimentazione di Centri di lavoro e di tornitura; robot di montaggio.

**Disciplina:** N283IME **SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE**

ING-IND/08

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** DE LUCIA MAURIZIO

P1 ING-IND/09

**Copertura:** AFF03

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

---

Misure di pressione: prese, linee e trasduttori. Misure e sensori di temperatura: termocoppie, termoresistenze, termistori.

Misure di portata: contatori, dispositivi a strozzamento, sensori magnetici, ad ultrasuoni, ad effetto Coriolis, vortex-shedding.

Misure di velocità: sonde pneumatiche, anemometria a filo caldo, velocimetria laser. Misure di turbolenza dei flussi. Visualizzazioni di flusso. Analisi digitale delle immagini. Misure di forza, spostamenti e deformazioni. Misura di coppia e della potenza. Utilizzo degli strumenti elettrici comuni di misura: voltmetri digitali, oscilloscopi, filtri, generatori di segnali, ponti estensimetrici, frequenzimetri, sistemi di acquisizione dati.

Media e varianza. Distribuzione di probabilità. Errori casuali e bias. Criterio di Chauvenet. Propagazione dell'errore nelle misure. Analisi dei campioni digitali. Spettri di potenza. Correlazioni. Filtri analogici e digitali.

Pompe: circuiti di prova; determinazione delle prestazioni; prove di cavitazione.

Compressori: circuiti e definizione delle classi di prova.

Turbine a vapore: misura del titolo del vapore.

Gruppi turbogas: condizioni di aspirazione; giochi radiali; distorsioni di flusso e temperatura.

Motori a combustione interna alternativi: prove di prestazioni e controllo delle emissioni.

Generatori di vapore: Prove di rendimento. Metodologia diretta ed indiretta. Calcolo delle perdite.

PER ULTERIORI INFORMAZIONI CONSULTARE LA PAGINA INTERNET: <http://www-pgtu.ing.unifi.it/corsi/corsi.htm>

---

Gli studi di fabbricazione durante la progettazione del prodotto, esempi d'analisi evidenziando i vantaggi conseguibili in questa fase.

Criteri di scelta del semilavorato. Principi generali per la stesura di uno studio di fabbricazione (SdF). Le attrezzature standard: Autocentranti, piattaforme a morsetti indipendenti, spine elastiche, lunette; morse e piani magnetici; Forze di taglio e calcolo della staffatura. I semilavorati indefiniti, disponibilità e costi; Laminati, tubi, barre in colata continua, estrusi, pelati, trafilati, torniti, rettificati, etc. Semilavorati definiti: fusi, stampati a caldo e a freddo, microfusi. Cenni sulla generazione delle superfici. Le principali lavorazioni con asportazione di truciolo. Utensili e lavorazioni di foratura, foratura profonda, allargatura, alesatura, barenatura; Campi di impiego e limiti dimensionali. Tornitura, sulle punte, a sbalzo, limiti di lunghezza. Pezzi lunghi, lavorazione con autocentrante e contropunta, uso della lunetta mobile per lavorazioni esterne, lunetta fissa limiti di impiego nelle lavorazioni esterne ed interne. Scelta degli utensili e dei parametri di taglio, influenza sui costi. Fresatura, concorde e discorde, tecniche di spianatura; fresatura di forma, HSM cenni, confronto con elettroerosione a tuffo. Rettifica in tondo eterna ed interna, sovrametalli, lunette.

Rettifica in piano, piani magnetici, limiti d'impiego. Rettifica con mola frontale e tangenziale. Bocciatura, Elettroerosione, tornitura in lastra, rotomartellatura. Esempio d'ottimizzazione di una lavorazione di tornitura in finitura e in sgrossatura. Esempi di studi di fabbricazione.

**Disciplina:** N233IME **TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA** ING-IND/22  
**APPLICATA**

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

**Note:**

**Docente:** GALVANETTO EMANUELE P2 ING-IND/22 **Copertura:** AFF03

**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

**Note:**

---

Inquadramento della materia e introduzione ai sistemi di produzione. La Tecnologia Meccanica nel mondo dei sistemi produttivi; classificazione dei processi; criteri di scelta del processo.

Caratterizzazione dei materiali. Comportamento dei materiali in campo plastico; prove meccaniche, macchine e modalità di prova.

Integrità superficiale, attrito ed usura. Caratterizzazione microgeometrica delle superfici; teoria adesiva dell'attrito; usura e meccanismi di usura.

Processi di fonderia. Formatura in forma temporanea e permanente; prestazioni dei vari processi di fonderia e criteri generali di scelta del processo.

Processi di deformazione plastica. Principali processi di deformazione plastica: descrizione dei processi, delle loro prestazioni e delle macchine per deformazione plastica.

Processi di asportazione. Principali processi di lavorazione per asportazione di truciolo. Materiali e geometria degli utensili; architettura e caratteristiche costruttive ed operative delle principali famiglie di macchine utensili.

Processi di giunzione. Processi di saldatura; classificazione e descrizione dei principali processi: tecnologia degli incollaggi.

Processi di lavorazione dei materiali polimerici e polimerici rinforzati. Panoramica sui processi di lavorazione dei materiali polimerici e compositi a matrice polimerica.

Processi ad alta densità di energia. Panoramica sulle lavorazioni non convenzionali; laser, plasma, idrogetto, elettroerosione.

Misure e collaudi. Strumenti di misura e collaudo; strumenti meccanici ed elettrici; trasduttori digitali ed analogici; macchine di misura a coordinate e macchine speciali.

Introduzione al Controllo Numerico. Architettura del controllo numerico; elementi meccanici e azionamenti delle macchine a controllo numerico; concetti di base di programmazione; i Centri di Lavorazione.

Introduzione agli Studi di Fabbricazione. Problematiche inerenti la scelta del grezzo e del processo primario; criteri di scelta delle superfici di riferimento, delle macchine, delle attrezzature e degli utensili necessari.

Introduzione alla organizzazione e programmazione della produzione. Modelli di Layout; obiettivi della programmazione; elementi fondamentali sulla gestione dei materiali e sulla gestione operativa della produzione.

**Disciplina:** N248IME **TECNOLOGIA MECCANICA II**

ING-IND/16

**Corso di Studio:** IME IGE

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

**Note:**

**Docente:** DEL TAGLIA ANDREA

P1 ING-IND/16

**Copertura:** AFF03

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

---

Teoria del taglio e del controllo del truciolo. Formazione del truciolo; utensile elementare; taglio ortogonale e metodologie di calcolo della forza di taglio; taglio tridimensionale e analisi relativa; geometria dell'utensile monotagliante e controllo del truciolo. Distribuzione delle pressioni e temperature sull'utensile e misura delle forze di taglio

Utensili da taglio; materiali e geometrie. Materiali per utensili e loro evoluzione; scelta del materiale in relazione al materiale del pezzo ed alla lavorazione; geometria dell'utensile e sua influenza sulle prestazioni.

Macchine utensili: componenti, e architettura. Bancali, slitte, montanti, teste portamandrino; guide, slitte, viti di manovra; architettura delle principali famiglie di macchine utensili.

Macchine utensili: azionamenti e trasduttori. Fondamenti sugli attuatori elettrici, idraulici e pneumatici; motori, riduttori, elettronica di potenza; trasduttori ottici e magnetici per macchine utensili.

Macchine utensili: statica, dinamica e collaudo. Caratteristiche statiche e dinamiche delle macchine utensili in relazione alle loro prestazioni; stabilità del processo di taglio

Lavorazioni di Tornitura, Fresatura, Foratura, Alesatura, Maschiatura, Brocciatura, Lavorazione di ingranaggi, Rettificazione. Analisi delle principali lavorazioni, delle loro capacità in termini di geometria, di qualità e di produttività; determinazione dei parametri di taglio, della potenza di taglio, dei tempi di lavorazione; piazzamenti e sequenze di lavorazione. Tolleranze di lavorazione e trasferimento di tolleranze; valutazione degli errori di lavorazione.

Attrezzature standard portapezzo e portautensile. Attrezzature portapezzo e portautensile per le principali lavorazioni; sistemi di riferimento e di bloccaggio; teste speciali e multiutensile

Usura utensili, affilatura utensili, economia delle lavorazioni. Usura degli utensili; meccanismi di usura, geometria dell'usura e principi di affilatura; criteri di scelta dei parametri di taglio; economia della lavorazione e velocità ottima di taglio.



**Disciplina:** N303IME **TEORIA E TECNICA DEI VEICOLI TERRESTRI**

ING-IND/14

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** BRACCIALI ANDREA

P2 ING-IND/14

**Copertura:** AFF03

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

---

Introduzione. Generalità. Struttura del binario. Trasferimento dei carichi. Geometria del binario. Modello dinamico veicolo-binario. Descrizione sala montata. Profilo della ruota ferroviaria e profilo della rotaia e loro relazioni. Cenni sulla teoria di Klingel.

Teoria di Klingel, conicità e conicità equivalente, problemi sull'instabilità di marcia, esempio di diagramma deltar(y) per un profilo teorico S 1002, conicità equivalente in funzione dello scartamento, variazione del punto di contatto ruota-rotaia per un profilo ruota S1002 e rotaia UIC 60 al variare dell'angolo di posa delle rotaie.

La sopraelevazione, accelerazione non compensata, accelerazioni laterali quasi statiche e accelerazioni dovute ai carichi dinamici, limite di svio, classificazione delle linee e ranghi di velocità, effetto della soplesse, concetto di pendolamento, esempio ETR4X0 e confronto con ETR 500.

I problemi delle curve in ferrovia, il raccordo tra rettilineo e curva, la clotoide, la parabola cubica, l'accelerazione laterale in curva. La classificazione delle linee e le classi di velocità.

La coppia cinematica ruota-terreno, il fenomeno dell'aderenza, slittamenti e pseudoslittamenti, il coefficiente di aderenza, valori pratici del coefficiente di aderenza. La resistenza al moto, coppia perno-cuscinetto, resistenza dell'aria, resistenza all'avanzamento, resistenza dovuta alla pendenza e alle curve.

Criteri fondamentali della sicurezza e della circolazione ferroviaria, sezioni di blocco: definizione ed esempi, regimi di circolazione, regime del giunto, regime del blocco, segnali, informazioni presentate da un segnale (via libera, via impedita riduzione velocità) esempi di segnali principali e complementari, diversità segnali da paese a paese.

Concetto di ridondanza e fail safe, relè principio di funzionamento, relè tipi, relè autoeccitato, relè rappresentazione schematica, relè a caduta per segnali, circuiti di binario in cc ed in ca semplici e con ripetitori, accoppiamento induttivo.

Pedali: meccanico elettromeccanico, elettromagnetico. Sistemi di blocco: blocco semiautomatico, blocco automatico a correnti fisse, blocco automatico a correnti codificate, blocco automatico conta assi. Ripetizione segnali, 4 codici, 9 codici, SCMT.

ERTMS, ETCS. Livello 1, livello 2 e livello 3. Sistemi di sicurezza in stazione: manovra dei deviatori, manuale, chiavi fermascambi, casse di manovra elettriche, funzioni principali.

Apparati centrali. ACE logica elettrica e meccanica, ACEI principi di funzionamento, ACS principi. RTB descrizione, cenni ad altri sistemi diagnostici.

Il problema della captazione, la catenaria: descrizione, soluzioni costruttive. I fili conduttori, le funi portanti e i pendini, la poligonazione del filo. Il pantografo, descrizione ed esempi: archetto centinato ed archetto piano. Schema meccanico del pantografo. Il problema dei distacchi e la distribuzione delle forze di contatto pantografo catenaria. L'elasticità media, l'indice di disuniformità, la frequenza propria e la velocità critica. Esempi di mensole di supporto per catenaria.

Definizioni di materiale rotabile e veicoli ferroviari, il concetto di massa aderente, il contatto ruota rotaia (cenni), la sovraccaricabilità, potenza continuativa, potenza oraria, corrente di avviamento, caratteristica ideale di trazione, curva isopotenza, diagramma di trazione, trazione a potenza concentrata e a potenza distribuita, il concetto di componibilità, la trazione doppia simmetrica e intercalata, morfologia di una locomotiva, il rodiggio: esempi, la sala montata, la ruota folle, ruote monoblocco e con cerchione riportato, le ruote elastiche, la boccola, a strisciamento e a rotolamento, la sala e il parasala, le guide boccole: esempi. la trasmissione dei carichi verticali, delle spinte longitudinali e delle spinte trasversali. Il collegamento sala carrello: esempi.

Il carrello, la sospensione primaria e secondaria. Il collegamento cassa carrello, la trasmissione "z", la trave ausiliaria, la trazione bassa, cenni sul cabraggio. Carrelli per locomotive, per metropolitane, carrelli per carrozze, carrelli per carri. La trasmissione del moto dal motore alle ruote. Trasmissione di tipo tranviario, sospensione del motore per il "naso", trasmissione ad asse cavo, trasmissione a doppio asse cavo, trasmissione ad anello danzante. Trasmissione ad

anello danzante per locomotive monomotore, trasmissione del moto nelle loco E 402, ETR 450, ETR 500.

Le macchine a corrente continua, i fenomeni elettromagnetici, l'anello di Pacinotti, gli avvolgimenti di indotto a tamburo a connessione frontale, il motore elettrico a corrente continua, lo statore e il rotore, descrizioni e soluzioni costruttive, gli schemi rappresentativi circolari e rettangolari, la reazione di indotto, flusso induttore e flusso trasverso, i poli ausiliari, gli avvolgimenti compensatori, il fenomeno della commutazione, la commutazione lineare, la sottocommutazione e la sovracommutazione, caratteristiche costruttive dei motori in C.C. per la trazione ferroviaria, gli avvolgimenti ondulati ed embricati.

Curve caratteristiche dei motori a corrente continua con eccitazione serie, la forza contro elettro motrice, la coppia, il numero di giri del motore in funzione del flusso e della tensione di alimentazione, avviamento tradizionale con reostato, la costruzione della caratteristica meccanica di un motore a C.C., la regolazione della velocità, la combinazione dei motori: serie, serie-parallelo, parallelo, super parallelo, esempio di locomotiva con 6 motori, curve caratteristiche, regolazione della velocità tramite indebolimento campo, la coppia in funzione del campo residuo, indebolimento campo come sfruttamento della potenza nominale dei motori, esempi di curve caratteristiche di alcune locomotive FS, la velocità di fuga: sistemi di rilevamento, segnalazione ed intervento.

La trazione diesel, le fasi del motore 4 tempi, ciclo ideale e ciclo reale del motore diesel, la sovralimentazione, il turbocompressore, le curve caratteristiche di un motore diesel veloce, confronto con le curve di un motore ciclo otto, il consumo specifico, descrizione costruttiva delle parti che compongono un motore diesel: es. la testa, il pistone, la camicia del cilindro, le valvole, la biella, l'albero a gomiti. L'iniezione di combustibile, la pompa di iniezione, la regolazione della quantità di combustibile, il ritardo di iniezione, il ritardo d'accensione, il polverizzatore, l'iniezione diretta e l'iniezione indiretta. Il regolatore di velocità discontinuo, il regolatore di velocità continuo. La trasmissione del moto dal motore alle ruote, il cambio meccanico, i sincronizzatori, il giunto idraulico trasmettore di coppia, il giunto trasmettore di coppia, punti caratteristici di funzionamento.

**Disciplina:** N299IME **TRASMISSIONE DEL CALORE**

ING-IND/10

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** GRAZZINI GIUSEPPE

P1 ING-IND/10

**Copertura:** AFF03

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

---

Il Numero indica i crediti parziali dell'argomento che precede

Termodinamica

Richiami sugli stati e sui cambiamenti di fase

0.1

Moto fluidi

Richiami ed approfondimenti su fluidi newtoniani e non; equazione di Bernoulli gen; numero di Reynolds; moto laminare; moto di fluidi comprimibili ed a temperatura variabile

0.3

Scambio termico

Equazioni della conduzione termica.

0.1

Transitori

0.3

Convezione naturale e forzata; strato limite; coefficiente di scambio termico; equazioni rappresentative del fenomeno; convezione in cavità.

0.3

Ebollizione di massa e forzata

0.5

Condensazione; superfici speciali; ice-slurry; termodotto

0.5

Comportamento dei corpi real nell'irraggiamento; fattori di vista; Comportamento dei gas

0.4

Scambiatori di calore; varie tipologie; Metodo e-NTU e DTML per dimensionamento dei diversi tipi di scambiatori.

0.5

**Disciplina:** N284IME **TURBOMACCHINE**

ING-IND/08

**Corso di Studio:** IME

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

**Note:**

**Docente:** ARNONE ANDREA

P1 ING-IND/09

**Copertura:** AFF03

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

---

#### COMPRESSORI:

- Utilizzo della teoria elementare, triangoli di velocità scambi energetici.
- Tipologie di palettature, flusso interpolare, strato limite e diffusione.
- Flusso meridiano ed effetti tridimensionali.
- Cenni al funzionamento fuori progetto
- Palettature per compressori assiali
- Palettature per compressori centrifughi
- Bilanci di stadio, stallo, choke

#### POMPE:

- Dettagli delle caratteristiche di funzionamento.
- Tipologie di giranti e diffusori.
- Cavitazione.

#### TURBINE:

- Approfondimenti della teoria elementare.
- Flusso interpolare, perdite di profilo, tipologie di flusso transonico.
- flusso meridiano ed effetti tridimensionali.
- Palettature per turbine assiali.
- Analisi dettagliata dello stadio.

