



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II
SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CHIMICA, DEI MATERIALI
E DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE**

GUIDA DELLO STUDENTE

**CORSO DI LAUREA IN
SCIENZA E INGEGNERIA DEI MATERIALI**

Classe delle Lauree in Ingegneria Industriale, Classe N. L-9

ANNO ACCADEMICO 2021/22

Napoli, luglio 2021

Finalità del Corso di Studi e sbocchi occupazionali

La Laurea in Scienza e Ingegneria dei Materiali ha come obiettivo formativo la preparazione di laureati in grado di comprendere e interpretare le complesse relazioni che sussistono tra proprietà, morfologia e composizione chimica delle varie classi di materiali, e di conoscere e comprendere i principali processi di trasformazione e le tecnologie di lavorazione di manufatti industriali. La multidisciplinarietà rappresenta l'aspetto distintivo del Corso di Studi, che si fonda sulla combinazione sinergica di un approccio microscopico, tipico delle scienze chimiche e fisiche di base, e uno più macroscopico, proprio della cultura ingegneristica. L'armonizzazione di approcci culturali diversi garantisce al laureato una formazione ad ampio spettro, fornendo le conoscenze necessarie a inserirsi con successo in contesti lavorativi moderni in ambito industriale e nel campo della ricerca applicata. Le competenze tecnico-scientifiche si associano a conoscenze generali relative alle responsabilità professionali ed etiche. Inoltre, il Corso di Studi in Scienza e Ingegneria dei Materiali mira a favorire lo sviluppo di capacità relazionali e decisionali e a promuovere competenze utili all'aggiornamento continuo delle conoscenze.

Il laureato in Scienza e Ingegneria dei Materiali dovrà essere in grado di comunicare efficacemente in forma scritta e orale in almeno una lingua della UE oltre all'italiano, e dovrà possedere adeguate conoscenze che permettano l'uso degli strumenti informatici necessari allo scambio di informazioni nell'ambito specifico di competenza.

Il Corso di Studi prevede un test di ammissione obbligatorio finalizzato a valutare l'adeguatezza della preparazione di base e l'attitudine agli studi di Ingegneria. Informazioni sulle modalità di svolgimento del test e sulle eventuali prescrizioni conseguenti al mancato superamento sono reperibili sul sito web www.scuolapsb.unina.it.

Manifesto degli Studi

| Attività formativa | Modulo (ove presente) | CFU | SSD | Tipologia (*) | Propedeuticità |
|---|---|-----|------------|---------------|--|
| I Anno - 1° Semestre | | | | | |
| Analisi matematica I | | 9 | MAT/05 | 1 | |
| Geometria e algebra | | 6 | MAT/03 | 1 | |
| Elementi di informatica | | 6 | ING-INF/05 | 1 | |
| Lingua inglese | | 3 | | 5 | |
| I Anno - 2° Semestre | | | | | |
| Analisi matematica II | | 9 | MAT/05 | 1 | Analisi matematica I |
| Chimica I | | 9 | CHIM/07 | 1 | |
| Fisica generale I | | 6 | FIS/01 | 1 | |
| Disegno tecnico industriale | | 6 | ING-IND/15 | 2 | |
| II Anno - 1° Semestre | | | | | |
| Fisica generale II | | 9 | FIS/01 | 1 | Fisica generale I |
| Chimica II | Chimica organica | 5 | CHIM/06 | 4 | Chimica I |
| | Laboratorio di chimica | 6 | CHIM/03 | 4 | |
| Fisica Matematica | | 6 | MAT/07 | 1 | Analisi matematica I; Geometria e algebra |
| Termodinamica dei materiali | Termodinamica macroscopica | 6 | ING-IND/22 | 2 | |
| II Anno - 2° Semestre | | | | | |
| Termodinamica dei materiali | Chimica fisica molecolare | 6 | CHIM/02 | 4 | |
| Elettrotecnica | | 6 | ING-IND/31 | 2 | Analisi matematica II; Fisica generale II |
| Scienza delle costruzioni | | 9 | ICAR/08 | 2 | |
| Scienza e tecnologia dei materiali | Fondamenti di scienza e tecnologia dei materiali | 8 | ING-IND/22 | 2 | Chimica I |
| | Laboratorio di scienza e tecnologia dei materiali | 6 | ING-IND/22 | 2 | |
| III Anno - 1° Semestre | | | | | |
| Fondamenti di modellazione per l'ingegneria dei materiali | | 6 | ING-IND/22 | 2 | |
| Fenomeni di trasporto nelle tecnologie dei materiali | Fenomeni di trasporto | 6 | ING-IND/24 | 4 | |
| | Principi di trasformazione dei materiali | 6 | ING-IND/22 | 2 | |
| Altre conoscenze utili all'inserimento nel mondo del lavoro | | 1 | | 6 | |

| III Anno – 2° Semestre | | | | | |
|--|--|----|------------|---|-----------|
| Chimica dei materiali | | 7 | CHIM/03 | 1 | Chimica I |
| Fisica dei materiali | | 9 | FIS/03 | 1 | |
| Comportamento meccanico dei materiali | | 9 | ING-IND/14 | 2 | |
| A scelta autonoma dello studente (**) Collocazione: I o II semestre | | 12 | | 3 | |
| Prova finale | | 3 | | 5 | |

Note

(*) Legenda delle tipologie delle attività formative ai sensi del DM 270/04

| Attività formativa | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| rif. DM 270/04 Articolo 10 | comma 1, a) | comma 1, b) | comma 5, a) | comma 5, b) | comma 5, c) | comma 5, d) | comma 5, e) |

(**) Lo Lo studente deve scegliere esami per un totale di 12 CFU liberamente distribuiti tra I e II anno. Nella scelta, lo studente potrà attingere alle attività formative indicate in Tabella B.

Tabella B – Insegnamenti suggeriti per la scelta autonoma (***)

| Attività formativa | CFU | SSD | Propedeuticità | CdS da cui è mutuato il corso |
|--|-----|------------|------------------------------------|--|
| III Anno - 1° Semestre | | | | |
| Chimica fisica dei materiali e delle superfici | 6 | CHIM/02 | Termodinamica dei materiali | |
| Scienza e tecnologia di superfici e interfacce | 6 | ING-IND/22 | Scienza e tecnologia dei materiali | |
| III Anno - 2° Semestre | | | | |
| Meccanica dei veicoli | 6 | ING-IND/13 | | L-Ingegneria Elettrica |
| Reologia | 6 | ING-IND/24 | | LM-Scienze e tecnologie della chimica industriale (Classe LM-71) |
| Introduzione alla meccanica non lineare dei mezzi continui | 6 | ICAR/08 | | |

(***) La scelta tra esami compresi nella Tabella B garantisce l'automatica approvazione del piano di studi.

Calendario delle attività didattiche - a.a. 2021/22



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II
Scuola Politecnica e delle Scienze di Base - Collegio degli Studi di Ingegneria
Anno Accademico 2021/2022
Calendario delle attività didattiche e dei periodi di esame

| Corsi di Laurea | 1° periodo didattico | 1° periodo esami (2 sedute) | Finestra esami marzo | 2° periodo didattico | 2° periodo esami (2 sedute) | 3° periodo esami (1 seduta) | Finestra esami ottobre |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| I Anno | 20/09/2021-17/12/2021 | 18/12/2021-26/02/2022 | 02/03/2022-31/03/2022 | 07/03/2022-10/06/2022 | 11/06/2022-30/07/2022 | 01/09/2022-30/09/2022 | 01/10/2022-31/10/2022 |
| II e III Anno | 20/09/2021-17/12/2021 | 18/12/2021-26/02/2022 | 02/03/2022-31/03/2022 | 07/03/2022-10/06/2022 | 11/06/2022-30/07/2022 | 01/09/2022-30/09/2022 | 01/10/2022-31/10/2022 |

Vacanze 1° semestre - San Gennaro: 19 settembre (domenica); Ognissanti: 1 novembre (lunedì); Immacolata: 8 dicembre (mercoledì); Natale: dal 24 dicembre (venerdì) al 6 Gennaio (giovedì).

Vacanze di Carnevale - Lunedì 28 febbraio e martedì 1 marzo

Vacanze 2° semestre - Pasqua: da giovedì 14 aprile a mercoledì 20 aprile; Festa della Liberazione: 25 aprile (lunedì); Festa del Lavoro: 1 maggio (domenica); Festa della Repubblica: 2 giugno (giovedì)

Referenti del Corso di Studi

Coordinatore Didattico dei Corsi di Studio in Scienza e Ingegneria dei Materiali: prof. Giovanni Filippone – Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale - tel. 081/7682104 - e-mail: giovanni.filippone@unina.it.

Referente del Corso di Laurea per il Programma ERASMUS: prof.ssa Veronica Ambrogio – Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale - tel. 081/768410 - e-mail: veronica.ambrogio@unina.it.

Referenti del Corso di Laurea per il tutoraggio: prof.ssa Barbara Liguori (tel. 081/7682395 - e-mail: barbara.liguori@unina.it) e prof.ssa Veronica Ambrogio (tel. 081/7682410 - e-mail: veronica.ambrogio@unina.it) – Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale

Attività formative

N.B. Si raccomanda agli studenti di riferirsi alle pagine web dei docenti titolari degli insegnamenti (www.docenti.unina.it) per disporre di schede e materiali didattico aggiornati

| | |
|---|---------------------------------|
| Insegnamento: Analisi Matematica I | |
| CFU: 9 | SSD: MAT/05 |
| Ore di lezione: 48 | Ore di esercitazione: 24 |
| Anno di corso: I | Semestre: I |
| Obiettivi formativi: Fornire i concetti fondamentali, in vista delle applicazioni, relativi al calcolo infinitesimale, differenziale e integrale per le funzioni reali di una variabile reale; fare acquisire adeguate capacità di formalizzazione logica e abilità operativa consapevole. | |
| Contenuti: Numeri reali. Numeri complessi. Funzioni elementari nel campo reale. Equazioni e disequazioni. Limiti delle funzioni reali di una variabile reale: proprietà dei limiti, operazioni con i limiti e forme indeterminate, infinitesimi, infiniti, calcolo di limiti. Funzioni continue: proprietà e principali teoremi. Calcolo differenziale per funzioni reali di una variabile reale: funzioni derivabili e significato geometrico della derivata, il differenziale, principali teoremi del calcolo differenziale, estremi relativi e assoluti, criteri di monotonia, funzioni convesse e concave, studio del grafico, formula di Taylor. Integrazione indefinita: primitive e regole di integrazione indefinita. Calcolo integrale per le funzioni continue in un intervallo compatto: proprietà e principali teoremi, area del rettangoloide, teorema fondamentale del calcolo integrale, calcolo di integrali definiti. Successioni e serie numeriche, serie geometrica, serie armonica. | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: | |
| Metodo didattico: Lezioni ed esercitazioni | |
| Materiale didattico: Tracce delle prove di esame risolte e non | |
| Modalità di esame: Prove applicative in itinere e/o prova scritta finale; colloquio | |

| | |
|---|---------------------------------|
| Insegnamento: Geometria e algebra | |
| CFU: 6 | SSD: MAT/03 |
| Ore di lezione: 36 | Ore di esercitazione: 12 |
| Anno di corso: I | Semestre: I |
| <p>Obiettivi formativi: In questo insegnamento si dovranno acquisire gli strumenti di base dell'algebra lineare e della geometria. L'obiettivo di questo insegnamento è, da un lato, quello di abituare lo studente ad affrontare problemi formali, utilizzando strumenti adeguati ed un linguaggio corretto, e dall'altro di risolvere problemi specifici di tipo algebrico e geometrico, con gli strumenti classici dell'algebra lineare.</p> | |
| <p>Contenuti: Cenni sulle strutture geometriche (affini ed euclidee) ed algebriche (gruppi, campi, spazi vettoriali). Vettori geometrici applicati. Relazioni d'equivalenza e vettori liberi. Operazioni sui vettori. Spazi vettoriali numerici e prodotto scalare standard. Dipendenza lineare, generatori, basi e dimensione. Sottospazi di uno spazio vettoriale. Operazioni sui sottospazi: sottospazi congiungenti, somme dirette e Teorema di Grassmann. Matrici. Lo spazio vettoriale delle matrici su un campo. Matrice trasposta. Matrici quadrate di vari tipi: triangolari, diagonali, simmetriche. Rango di una matrice. Prodotto righe per colonne. Il determinante di una matrice quadrata: definizione e principali proprietà. Metodi di calcolo. Teoremi di Laplace, di Binet e degli Orlati. Operazioni elementari sulle righe (o colonne) di una matrice. Metodi di triangolazione. Questioni di invertibilità. Sistemi di equazioni lineari. Compatibilità, sistemi equivalenti. Teoremi di Rouchè-Capelli e di Cramer. Metodi di calcolo delle soluzioni di un sistema compatibile. Sistemi parametrici. Applicazioni lineari. Nucleo e immagine; l'equazione dimensionale. Monomorfismi, epimorfismi ed isomorfismi. L'isomorfismo coordinato. Matrice associata ad una applicazione lineare. Endomorfismi, autovalori, autovettori ed autospazi. Il polinomio caratteristico. Molteplicità algebrica e geometrica di un autovalore. Diagonalizzazione di un endomorfismo e di una matrice. Il Teorema Spettrale. Geometria del piano. Rappresentazione parametrica e cartesiana della retta. Fasci di rette. Cenni su questioni affini nel piano: parallelismo e incidenza tra rette. Cenni su questioni euclidee nel piano. Circonferenza, ellisse, iperbole e parabola. Cenni sulle coniche: ampliamento proiettivo, classificazione affine delle coniche, polarità. Geometria dello spazio. Rappresentazione parametrica e cartesiana della retta e del piano. Vettore direzionale della retta e vettore normale del piano. Fasci di piani. Cenni su questioni affini nello spazio: parallelismo e incidenza tra rette, tra piani, e tra una retta ed un piano. Cenni su questioni euclidee nello spazio. Il problema della comune perpendicolare. Sfere, coni, cilindri. Cenni sulle quadriche.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: | |
| Modalità di esame: prova scritta e colloquio orale | |
| Metodo didattico: Lezioni ed esercitazioni | |
| Materiale didattico: L. A. Lomonaco, Geometria e algebra: vettori, equazioni e curve elementari; appunti delle lezioni | |

| | |
|--|---------------------------------|
| Insegnamento: Elementi di informatica | |
| CFU: 6 | SSD: ING-INF/05 |
| Ore di lezione: 26 | Ore di esercitazione: 22 |
| Anno di corso: I | Semestre: I |
| <p>Obiettivi formativi:</p> <p>Conoscenza delle nozioni di base relative alla struttura ed al modello funzionale di un elaboratore. Conoscenza delle fondamentali strutture di dati e degli strumenti e metodi per lo sviluppo di programmi, su piccola o media scala, per applicazioni di tipo tecnico-scientifico. Capacità di progettare e codificare algoritmi in linguaggio C++, secondo le tecniche di programmazione strutturata e modulare, per la risoluzione di problemi di calcolo numerico di limitata complessità e di gestione di insiemi di dati, anche pluridimensionali.</p> | |
| <p>Contenuti:</p> <p>Nozioni di carattere introduttivo sui sistemi di calcolo: Cenni storici. Il modello di von Neumann. I registri di memoria. Caratteristiche delle unità di I/O, della Memoria Centrale, della Unità Centrale di Elaborazione. L'hardware e il software. Software di base e software applicativo. Funzioni dei Sistemi Operativi. Tipi e strutture di dati. Definizione di un tipo: valori e operazioni consentite. Tipi ordinati. Tipi atomici e tipi strutturati. Tipi primitivi e tipi d'utente. I tipi di dati fondamentali del C++: tipi <i>int</i>, <i>float</i>, <i>double</i>, <i>bool</i>, <i>char</i>, <i>void</i>. Elementi di algebra booleana. Rappresentazione dei dati nei registri di memoria: virgola fissa, virgola mobile, complementi alla base. Codice ASCII per la rappresentazione dei caratteri. Modificatori di tipo. Tipi definiti per enumerazione. Typedef. <i>Array</i> e stringhe di caratteri. Strutture. Strumenti e metodi per la progettazione dei programmi: Algoritmo e programma. Le fasi di analisi, progettazione e codifica. Sequenza statica e dinamica delle istruzioni. Stato di un insieme di informazioni nel corso dell'esecuzione di un programma. Metodi di progetto dei programmi. La programmazione strutturata. L'approccio top-down per raffinamenti successivi. Componenti di un programma: documentazione, dichiarazioni, istruzioni eseguibili. Le istruzioni di controllo del linguaggio C++. Costrutti seriali, selettivi e ciclici: sintassi, semantica, esempi d'uso. <i>Nesting</i> di strutture. Modularità dei programmi. Sottoprogrammi: le funzioni. Modalità di scambio fra parametri formali ed effettivi; effetti collaterali. Visibilità delle variabili. Algoritmi fondamentali di elaborazione: Metodi iterativi per il calcolo numerico. Gestione di <i>array</i>: ricerca, eliminazione, inserimento, ordinamento (algoritmi <i>select sort</i> e <i>bubble sort</i>). Cenni sulla complessità computazionale di un algoritmo. Gestione di tabelle. Esempi di calcolo matriciale. Esercitazioni: impiego di un ambiente di sviluppo dei programmi (Dev C++) con esempi di algoritmi fondamentali e di tipo numerico.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: | |
| <p>Metodo didattico: L'insegnamento comprende lezioni frontali ed esercitazioni sullo sviluppo di programmi in linguaggio C/C++. Le esercitazioni vengono svolte in aula ed in laboratorio in ambiente di sviluppo integrato DevC++.</p> | |
| <p>Materiale didattico: E. Burattini, A. Chianese, A. Picariello, V. Moscato, C. Sansone. "Che C serve? Per iniziare a programmare", Apogeo Education; A. Chianese, V. Moscato, A. Picariello. "Alla scoperta dei fondamenti dell'informatica: un viaggio nel mondo dei bit". Liguori editore; sito www.docenti.unina.it: materiale didattico offerto a supporto delle lezioni ed esercitazioni.</p> | |

Modalità di esame: L'esame è costituito da due prove: una prova pratica preliminare, al calcolatore, che accerta la capacità di progettare e codificare un programma in C/C++ ed una prova (orale/scritta) tendente ad accertare la conoscenza degli argomenti teorici.

Insegnamento: Analisi Matematica II

CFU: 9

SSD: MAT/05

Ore di lezione: 48

Ore di esercitazione: 24

Anno di corso: I

Semestre: II

Obiettivi formativi:

Fornire i concetti fondamentali, in vista delle applicazioni, relativi sia al calcolo differenziale e integrale per le funzioni reali di più variabili reali; fare acquisire abilità operativa consapevole.

Contenuti:

Successioni e serie di funzioni nel campo reale. Funzioni reali e vettoriali di più variabili reali: limiti, continuità e principali teoremi. Calcolo differenziale per le funzioni reali di più variabili reali: differenziabilità, teoremi fondamentali del calcolo differenziale, formula di Taylor. Estremi relativi e assoluti: condizioni necessarie, condizioni sufficienti. Integrali doppi e tripli di funzioni continue su insiemi compatti, formule di riduzione e cambiamento di variabili. Curve e superfici regolari, retta e piano tangenti, lunghezza di una curva e area di una superficie. Integrali curvilinei e integrali superficiali. Forme differenziali a coefficienti continui e integrali curvilinei di forme differenziali. Campi vettoriali gradienti, campi vettoriali irrotazionali. Teoremi della divergenza e di Stokes nel piano e nello spazio. Funzioni implicite e teorema del Dini. Equazioni differenziali in forma normale e problema di Cauchy, teoremi di esistenza e unicità. Equazioni differenziali del primo ordine a variabili separabili, equazioni differenziali lineari. Sistemi di equazioni differenziali lineari del primo ordine.

Prerequisiti / Propedeuticità: Analisi Matematica I

Metodo didattico: Lezioni ed esercitazioni

Materiale didattico: Esercizi e tracce delle prove d'esame risolte e non

Modalità di esame: Prove applicative in itinere e/o prova scritta finale; colloquio

| | |
|--|---------------------------------|
| Insegnamento: Chimica I | |
| CFU: 9 | SSD: CHIM/07 |
| Ore di lezione: 48 | Ore di esercitazione: 24 |
| Anno di corso: I | Semestre: II |
| <p>Obiettivi formativi: Fornire un'ampia panoramica sui principi della chimica per interpretare la natura molecolare della materia e delle sue trasformazioni. Utilizzo della tavola periodica come strumento di interpretazione delle proprietà e della reattività degli elementi e dei composti chimici.</p> | |
| <p>Contenuti: Leggi fondamentali della chimica. Elementi e composti. Masse atomiche relative. La mole nelle reazioni chimiche. Relazioni stechiometriche. Numeri di ossidazione e nomenclatura dei composti inorganici. La struttura elettronica degli atomi, Orbitali atomici. La tavola periodica. Il legame chimico. Legame covalente. Orbitali molecolari. Polarità dei legami ed elettronegatività. Geometria molecolare. Molecole polari. Il legame ionico. Le interazioni tra ioni. Legge dei gas ideali. Il modello cinetico. La distribuzione delle velocità molecolari. Gas reali. Equazione di Van der Waals. Forze di coesione nei solidi. L'energia reticolare dei cristalli. Legami metallici. Interazioni intermolecolari. Solidi molecolari. Solidi reticolari. I principi della termodinamica. Entropia ed irreversibilità: interpretazione statistica. Transizioni di stato. La liquefazione dei gas. Temperatura critica. Stato liquido. La tensione di vapore e l'equilibrio liquido-vapore. Il diagramma di fase di una sostanza pura. Le soluzioni. Solubilizzazione e saturazione. I parametri che influenzano la solubilità. Proprietà delle soluzioni. Velocità di reazione. Leggi cinetiche e meccanismi di reazione. Teoria delle collisioni. L'equilibrio chimico. La legge d'azione di massa. Equilibri eterogenei. Acidi e basi secondo Lowry-Bronsted. Equilibrio di dissociazione dell'acqua, il pH. Acidi e basi poliprotici. La neutralizzazione. Gli equilibri di solubilità. Prodotto di solubilità. Precipitazione. Reazioni di ossido-riduzione. Celle galvaniche. Potenziali elettrochimici. Pile ed accumulatori. Sistemi elettrochimici di interesse tecnologico: celle voltaiche primarie e secondarie, sensori elettrochimici, applicazioni commerciali delle celle elettrolitiche. Principali composti organici</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: | |
| Metodo didattico: lezioni ed esercitazioni numeriche | |
| <p>Materiale didattico: Materiale didattico: presentazioni multimediali delle lezioni. Libri di testo: D.W. Oxtoby, H. P. Gillis, A. Campion, CHIMICA MODERNA, IV Ed. Edises (Napoli); M. S. Silberberg, CHIMICA, III Ed. McGraw-Hill; P. Atkins, L. Jones, PRINCIPI DI CHIMICA, III Ed. Zanichelli (Bologna); I. Bertini, C. Luchinat; F. Mani, STECHIOMETRIA V Ed. Ambrosiana (Milano); M. Giomini, E. Balestrieri, M. Giustini, FONDAMENTI DI STECHIOMETRIA, Edises (Napoli)</p> | |
| Modalità di esame: prova scritta e colloquio orale | |

| | |
|--|---------------------------------|
| Insegnamento: Fisica Generale I | |
| CFU: 6 | SSD: FIS/01 |
| Ore di lezione: 36 | Ore di esercitazione: 14 |
| Anno di corso: I | Semestre: II |
| <p>Obiettivi formativi: Lo studente acquisirà i concetti fondamentali dalle Meccanica Classica e i primi concetti della Termodinamica, privilegiando gli aspetti fenomenologici e metodologici. Inoltre acquisirà una abilità operativa consapevole nella risoluzione di semplici esercizi numerici.</p> | |
| <p>Contenuti: Cinematica del punto materiale in una dimensione. Vettori. Cinematica del punto in due e tre dimensioni. La prima legge di Newton: il principio di inerzia. La seconda legge di Newton. La terza legge di Newton: il principio di azione e reazione. Il principio di relatività galileana. La forza peso, il moto dei proiettili. Forze di contatto: tensione, forza normale, forza di attrito. Il piano inclinato. La forza elastica, l'oscillatore armonico. Il pendolo semplice. Quantità di moto di una particella e impulso di una forza. Momento della quantità di moto di una particella e momento di una forza. Lavoro di una forza; il teorema dell'energia cinetica; campi di forza conservativi ed energia potenziale; il teorema di conservazione dell'energia meccanica. Le leggi di Keplero e la legge di Newton di gravitazione universale. Dinamica dei sistemi di punti materiali: equazioni cardinali; centro di massa ; leggi di conservazione della quantità di moto e del momento angolare. Elementi di dinamica del corpo rigido. Elementi di statica dei fluidi. Temperatura e calore. Il gas perfetto. L'esperienza di Joule. Il primo principio della termodinamica.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: | |
| Metodo didattico: Lezioni ed esercitazioni | |
| Materiale didattico: Libro di riferimento (indicato dal docente anno per anno), eventuali appunti integrativi, esercizi svolti. | |
| Modalità di esame: Prova scritta e orale | |

| | |
|---|---------------------------------|
| Insegnamento: Disegno Tecnico Industriale | |
| CFU: 6 | SSD: ING-IND/15 |
| Ore di lezione: 24 | Ore di esercitazione: 24 |
| Anno di corso: I | Semestre: II |
| <p>Obiettivi formativi: Interpretare disegni tecnici, valutando forma, funzione, lavorabilità, finitura superficiale e tolleranze dimensionali. Capacità di rappresentare disegni costruttivi di particolari e disegni d'assieme di montaggi semplici, nel rispetto della normativa internazionale. Conoscenze di base sulla documentazione tecnica di prodotto, dalla fase di progettazione concettuale alla fase di collaudo.</p> | |
| <p>Contenuti: Comunicazione tecnica nel ciclo di sviluppo prodotto. Standardizzazione e normazione. Metodi di proiezione. Sezioni: rappresentazione delle zone sezionate; disposizione delle sezioni. Esecuzione delle sezioni; sezioni di particolari elementi; sezione di oggetti simmetrici; sezioni in luogo; sezioni in vicinanza; sezioni interrotte. Quotatura. Disposizione delle quote. Quotatura funzionale, tecnologica e di collaudo. Tolleranze dimensionali. Dimensioni limite, scostamenti e tolleranze. Gradi di tolleranza normalizzati; scostamenti fondamentali; sistemi di accoppiamenti. Accoppiamenti raccomandati; tolleranze dimensionali generali. Controllo delle tolleranze dimensionali e calibri. Calcolo di tolleranze e di accoppiamenti. Errori microgeometrici. Rugosità superficiale. Criteri di unificazione. Sistemi di filettature e loro designazione. Rappresentazione degli elementi filettati. Rappresentazione dei collegamenti filettati. Rappresentazione di collegamenti con vite mordente, vite prigioniera e con bullone. Dispositivi anti-svitamento spontaneo. Classi di bulloneria. Collegamenti smontabili non filettati. Chiavette, linguette, spine e perni, accoppiamenti scanalati; chiavette trasversali, anelli di sicurezza e di arresto. Collegamenti fissi; rappresentazione di chiodature e rivettature; rappresentazione e designazione delle saldature. Riconoscimento di caratteristiche geometriche. Elaborazione di disegni costruttivi, di difficoltà crescente, di componenti, di dispositivi meccanici e di apparecchiature.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: | |
| Metodo didattico: lezioni frontali, esercitazioni guidate, discussione e confronto di casi studio | |
| Materiale didattico: Libri di testo, norme UNI, ISO, EN. Temi di esercitazione e tutorial disponibili sul sito docente. Lanzotti. A., Disegno Tecnico Industriale, MOOC, www.federica.eu | |
| Modalità di esame: Valutazione degli elaborati grafici svolti durante le esercitazioni, prova grafica personalizzata e colloquio finale. | |

| | |
|---|---------------------------------|
| Insegnamento: Fisica generale II | |
| CFU: 9 | SSD: FIS/01 |
| Ore di lezione: 54 | Ore di esercitazione: 18 |
| Anno di corso: II | Semestre: I |
| <p>Obiettivi formativi: Lo studente acquisirà i concetti fondamentali dell'Elettromagnetismo, privilegiando gli aspetti fenomenologici e metodologici. Acquisirà inoltre una abilità operativa consapevole nella risoluzione di semplici esercizi numerici.</p> | |
| <p>Contenuti: Interazione elettrica. Il principio di conservazione della carica elettrica. Legge di Coulomb. Principio di sovrapposizione. Campo elettrico. Potenziale elettrostatico. Potenziale di dipolo. Forza risultante e momento risultante su un dipolo posto in un campo esterno. Flusso di un campo vettoriale. Legge di Gauss. Il campo elettrico in presenza di conduttori. Condensatori. Densità di energia del campo elettrico. Cenni sull'elettrostatica nei dielettrici. Correnti continue. Legge di Ohm. Legge di Joule. Forza elettromotrice di un generatore. Leggi di Kirchhoff. Circuito RC. Interazione magnetica. Forza di Lorentz. Forza su un conduttore percorso da corrente. Momento meccanico su una spira. Moto di una carica in un campo magnetico uniforme. Il campo magnetico generato da correnti stazionarie. Il campo di una spira a grande distanza. Il momento magnetico di una spira. La legge di Gauss per il magnetismo. Il teorema della circuitazione di Ampere. Cenni sulla magnetostatica nei mezzi materiali. Legge di Faraday. Coefficienti di Auto e Mutua induzione. Circuito RL. Densità di energia del campo magnetico. Corrente di spostamento. Equazioni di Maxwell. Cenni sulle onde elettromagnetiche.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Fisica Generale I | |
| Metodo didattico: Lezioni ed esercitazioni | |
| Materiale didattico: Libro di testo (indicato dal docente anno per anno), eventuali appunti integrativi, esercizi svolti basati su esami degli anni precedenti | |
| Modalità di esame: prova scritta e orale | |

| | |
|---|--------------------------------|
| Insegnamento: Chimica II | |
| Modulo: Chimica organica | |
| CFU: 5 | SSD: CHIM/06 |
| Ore di lezione: 34 | Ore di esercitazione: 6 |
| Anno di corso: II | Semestre: I |
| <p>Obiettivi formativi: Il corso si propone di fornire i concetti base della chimica organica al fine di rendere lo studente in grado di razionalizzare le principali caratteristiche strutturali e di reattività delle molecole organiche.</p> | |
| <p>Contenuti: Partendo dalla teoria degli orbitali, nella prima parte del corso vengono esaminate le caratteristiche geometriche ed elettroniche delle molecole organiche. I concetti così introdotti vengono di seguito applicati nello studio dei principali gruppi funzionali (alcani, alcheni, alcoli, eteri, derivati carbonilici, ammine, etc.). Tale studio è integrato dall'introduzione ad altre tematiche di base come la cinetica chimica e la stereochemica. In maggior dettaglio: Legame chimico: orbitali atomici, ibridazione del carbonio, orbitali molecolari. Alcani e cicloalcani: isomeria costituzionale, isomeria conformazionale. Isomeria cis-trans nei cicloalcani. Alcheni: isomeria geometrica. Reazioni di addizione elettrofila. Ossidazione. Alchini. Stereochemica: concetti generali. Isomeri strutturali e stereoisomeri. Chiralità: Diastereoisomeri ed Enantiomeri. Attività ottica. Alogenuri alchilici: reazioni di sostituzione nucleofila SN1 e SN2 e di eliminazione E1 ed E2. Alcoli: sostituzione nucleofila catalizzata dagli acidi, disidratazione, ossidazione. Epossidi. Formazione di eteri e di esteri. Composti Aromatici: Aromaticità. Struttura del benzene. Reazioni di sostituzione elettrofila aromatica. Fenoli. Ammine: basicità, formazione di sali, alchilazione, sali ammoniaci quaternari. Aldeidi e chetoni: reazione di addizione nucleofila, enolizzazione, riduzione ed ossidazione. Acidi carbossilici: riduzione, esterificazione di Fischer, decarbossilazione. Derivati degli acidi carbossilici: reazioni di sostituzione nucleofila acilica. Anioni enolato: condensazione aldolica, condensazione di Claisen. Carboidrati: mono, disaccaridi, polisaccaridi. Amminoacidi. Legame peptidico. Polipeptidi. Proteine.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Chimica I | |
| Metodo didattico: lezioni frontali ed esercitazioni in aula | |
| Materiale didattico: diapositive del corso e libri di testo (a scelta tra i vari consigliati: W. Brown, T. Poon, Introduzione alla Chimica Organica (III edizione), Edises; T. W. G. Solomons; Fondamenti di Chimica Organica, Zanichelli; J. G. Smith, Fondamenti di Chimica Organica, McGraw Hill | |
| Modalità di esame: colloquio orale | |

| | |
|--|-------------------------------|
| Insegnamento: Chimica II | |
| Modulo: Laboratorio di Chimica | |
| CFU: 6 | SSD: CHIM/03 |
| Ore di lezione: 18 | Ore di laboratorio: 30 |
| Anno di corso: II | Semestre: I |
| <p>Obiettivi formativi: Rafforzare e concretizzare con diretta esperienza i concetti di base acquisiti nei precedenti corsi di chimica; acquisire abilità operative di manipolazione e controllo quantitativo di sistemi e reazioni chimiche; purificazione, isolamento e caratterizzazioni di prodotti preventivamente sintetizzati mediante tecniche chimiche e chimico-fisiche.</p> | |
| <p>Contenuti: Esperienze che implicano: dosaggio di reattivi in una reazione chimica; dosaggio dei componenti in una soluzione; controllo quantitativo di una soluzione attraverso titolazioni acido-base o redox; separazioni di componenti per precipitazione; reazioni redox selettive; sintesi di sostanze su cui verranno effettuate le seguenti: i) analisi termogravimetrica della stabilità termica e termossidativa di una sostanza; ii) analisi calorimetrica mediante calorimetria differenziale delle proprietà di fase di una sostanza. Esperienze di acquisizione ed interpretazione di spettrogrammi IR, UV/Vis, NMR dei sistemi sintetizza.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Chimica I | |
| Metodo didattico: Lezioni e attività di laboratorio | |
| Materiale didattico: Materiale fornito dal docente | |
| Modalità di esame: Discussione dei report sulle attività di laboratorio | |

| | |
|---|---------------------------------|
| Insegnamento: Fisica matematica | |
| Modulo: | |
| CFU: 6 | SSD: MAT/07 |
| Ore di lezione: 36 | Ore di esercitazione: 12 |
| Anno di corso: II | Semestre: I |
| Obiettivi formativi: Formalizzazione di fenomeni fisici in modelli matematici. Cinematica e statica di sistemi meccanici. Baricentri e Momenti d'inerzia di solidi e sezioni. | |
| Contenuti: Vettori applicati. Campi vettoriali. Equivalenza. Baricentri. Momenti d'inerzia. Descrizione lagrangiana dei moti rigidi, moti piani, assi e centri di rotazioni. Cinematica di sistemi meccanici. Vincoli. Grado di libertà. Coordinate lagrangiane. Matrice cinematica. Classificazione di sistemi meccanici (labili, isostatici, iperstatici). Equazioni della Statica. Reazioni. Metodi matriciali. Principio dei Lavori Virtuali. | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Analisi Matematica I; Geometria e Algebra | |
| Metodo didattico: lezioni e esercitazioni | |
| Materiale didattico: [1] Levi Civita, Amaldi, Compendio di Meccanica Razionale, Zanichelli. [2] Tolotti, Lezioni di Meccanica Razionale, Liguori 1973. [3] S. Bressan, A. Grioli, Esercizi di Meccanica Razionale, Ed. Libreria Cortina, Padova. [4] Biscari, Ruggeri, Saccomandi, Vianello, Meccanica Razionale | |
| Modalità di esame: prova scritta e orale | |

| | |
|--|---------------------------------|
| Insegnamento: Termodinamica dei materiali | |
| Modulo: Termodinamica macroscopica | |
| CFU: 6 | SSD: ING-IND/22 |
| Ore di lezione: 38 | Ore di esercitazione: 10 |
| Anno di corso: II | Semestre: I |
| <p>Obiettivi formativi: Acquisizione dei concetti di bilancio di massa e di energia. Acquisizione del concetto di Entropia e del II principio della termodinamica. Fornire le conoscenze relative alle principali funzioni di stato ed al concetto di equilibrio termodinamico. Acquisizione dei concetti di reversibilità e irreversibilità. Acquisire la capacità di valutare le proprietà termodinamiche delle sostanze reali pure e di effettuare calcoli relativi ad equilibri di fase per sostanze</p> | |
| <p>Contenuti: Classificazione dei sistemi e delle variabili termodinamiche. Il concetto di equilibrio. Pressione, temperatura ed equilibrio. Variabili estensive ed intensive. Il concetto di energia (potenziale, cinetica, interna), calore e lavoro. La I^a legge della termodinamica. Il concetto di entropia. La II^a legge della termodinamica e la reversibilità. Relazione tra calore ed entropia. Il ciclo di Carnot. Proprietà termodinamiche delle sostanze reali. Classificazione delle relazioni termodinamiche. I concetti di entalpia, energia di Helmholtz ed energia di Gibbs. Relazioni termodinamiche. Relazioni di Maxwell. Equazioni di stato volumetriche e loro forme generalizzate. Cambiamento delle proprietà termodinamiche in seguito ad un cambiamento di stato. Funzioni di scostamento. - Equilibri di fase in sistemi monocomponente. Criterio generale per l'equilibrio termodinamico. Condizioni di equilibrio per sistemi multifasici monocomponente. Instabilità, metastabilità e stabilità di uno stato di equilibrio. Diagrammi di fase. Il potenziale chimico e la fugacità. L'equazione di Clausius-Clapeyron e la sua integrazione. Punti tripli.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Fisica Generale I; Chimica I | |
| Metodo didattico: Lezioni ed esercitazioni numeriche | |
| Materiale didattico: 'Chemical Biochemical and Engineering thermodynamics', Stanley I. Sandler, J. Wiley & Sons, New York, 2006, 4th edition. | |
| Modalità di esame: 2 prove intercorso (facoltative) utili per ammissione al colloquio orale; prova scritta (qualora non si fossero sostenute e superate le prove intercorso) utile per ammissione al colloquio orale; colloquio orale | |

| | |
|---|--------------------------------|
| Insegnamento: Termodinamica dei materiali | |
| Modulo: Chimica fisica molecolare | |
| CFU: 6 | SSD: CHIM/02 |
| Ore di lezione: 48 | Ore di esercitazione: - |
| Anno di corso: II | Semestre: II |
| <p>Obiettivi formativi: Fornire le conoscenze di base della chimica fisica microscopica, con l'obiettivo di mostrare la connessione tra le proprietà termodinamiche macroscopiche e le grandezze microscopiche.</p> | |
| <p>Contenuti: Introduzione alla cinetica chimica. Richiami di termodinamica chimica: il grado di avanzamento di una reazione. Velocità ed ordine di reazione. Stechiometria e meccanismo di reazione. Molecolarità del passo di reazione. Metodi sperimentali per lo studio delle velocità di reazione. Tempo di semi-reazione. Integrazione delle cinetiche del primo e secondo ordine. Esempi di cinetiche complesse. Teoria dello stato stazionario. Dipendenza della velocità di reazione dalla temperatura: legge empirica di Arrhenius. Cinetica chimica e catalisi. Introduzione alla termodinamica statistica. Ipotesi ergodica e principio di equiprobabilità a priori. Metodo dell'insieme di Gibbs. Derivazione della distribuzione di Boltzmann per insieme canonico. Funzione di ripartizione di sistema. Calcolo delle grandezze termodinamiche a partire dalla funzione di ripartizione. Funzione di ripartizione molecolare: gradi di libertà traslazionali, rotazionali, vibrazionali, elettronici. Calcolo della costante di equilibrio chimico a partire dalle funzioni di ripartizione molecolari. Teoria delle velocità assolute di reazione.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Fisica Generale I; Chimica I | |
| Metodo didattico: da definire con il docente titolare dell'insegnamento | |
| Materiale didattico: da definire con il docente titolare dell'insegnamento | |
| Modalità di esame: da definire con il docente titolare dell'insegnamento | |

| | |
|---|---------------------------------|
| Insegnamento: Elettrotecnica | |
| CFU: 6 | SSD: ING-IND/31 |
| Ore di lezione: 32 | Ore di esercitazione: 16 |
| Anno di corso: II | Semestre: II |
| <p>Obiettivi formativi: Il corso illustra gli aspetti di base, anche propedeutici a corsi successivi, della teoria dei circuiti elettrici e delle principali applicazioni tecniche dell'elettromagnetismo, con particolare riferimento al trasformatore e agli impianti, anche per garantire una loro capacità d'impiego consapevole.</p> | |
| <p>Contenuti: Le grandezze elettriche fondamentali: l'intensità di corrente, la tensione; il modello circuitale. Bipoli. Leggi di Kirchhoff. Elementi di topologia delle reti; conservazione delle potenze elettriche; Bipoli equivalenti; circuiti resistivi lineari, sovrapposizione degli effetti; generatori equivalenti. Bipoli dinamici. Cenni introduttivi sullo studio dei circuiti dinamici: Circuiti elementari del primo ordine. Metodo simbolico. Potenze in regime sinusoidale. Risoluzione di reti in regime sinusoidale. Risonanza. Reti trifasi simmetriche ed equilibrate. Rifasamento dei carichi induttivi trifasi. Il trasformatore ideale ed i circuiti mutuamente accoppiati. Reti equivalenti. Prove sui trasformatori. Proprietà e caratteristiche del trasformatore. Studio di semplici impianti elettrici in bassa tensione, con particolare riguardo ai problemi di sicurezza elettrica. Protezione contro i contatti diretti e indiretti.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Analisi Matematica II; Fisica Generale II | |
| Metodo didattico: da definire con il docente titolare dell'insegnamento | |
| Materiale didattico: da definire con il docente titolare dell'insegnamento | |
| Modalità di esame: da definire con il docente titolare dell'insegnamento | |

| | |
|--|---------------------------------|
| Insegnamento: Scienza delle Costruzioni | |
| Modulo: | |
| CFU: 9 | SSD: ICAR/08 |
| Ore di lezione: 42 | Ore di esercitazione: 30 |
| Anno di corso: II | Semestre: II |
| <p>Obiettivi formativi. Il corso si propone di illustrare i principali fondamenti teorici della Meccanica dei Solidi e alcuni degli aspetti applicativi della Meccanica delle Strutture. In particolare sono presentati i seguenti argomenti: la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione per strutture monodimensionali piane; il calcolo delle proprietà d'inerzia delle figure piane; elementi di calcolo tensoriale; l'analisi della deformazione finita ed infinitesima, l'analisi della tensione; le forme esatte e linearizzate delle equazioni di equilibrio.</p> <p><i>Conoscenza e capacità di comprensione:</i> Acquisire le conoscenze di base e l'approccio metodologico propri della Meccanica dei Solidi mediante lezioni frontali, studio individuale, svolgimento numerico di esercizi proposti. Incentivare la padronanza nell'uso di una terminologia che verrà utilizzata in gran parte dei corsi successivi.</p> <p><i>Capacità di applicare conoscenza e comprensione:</i> saper applicare le conoscenze acquisite alla risoluzione di problemi di Termo-Meccanica dei Continui, che gli allievi affronteranno nel loro percorso di studi, e la comprensione delle relative metodologie di analisi e risoluzione.</p> <p><i>Autonomia di giudizio:</i> Essere capaci di valutare gli approcci più adeguati alla risoluzione dei problemi specifici del CdL e la qualità dei risultati ottenibili anche in riferimento ai dati della bibliografia internazionale</p> <p><i>Abilità comunicative:</i> Imparare ad trasmettere, in forma scritta, verbale e multimediale, le proprie idee, gli approcci adottati ed i risultati conseguiti</p> <p><i>Capacità di apprendimento:</i> Aggiornare le proprie conoscenze di Meccanica dei Solidi mediante consultazione di libri, appunti e pubblicazioni scientifiche; acquisire un livello di maturità cognitiva sufficiente a seguire con profitto i corsi successivi.</p> | |
| <p>Contenuti:</p> <p>Statica dei sistemi piani di travi: vincoli e reazioni. Diagrammi delle caratteristiche delle sollecitazioni nelle travi ad asse rettilineo: sforzo normale; taglio e momento flettente. Richiami di algebra tensoriale: definizione di tensore e di matrice associata; composizione di tensori; prodotto tensoriale; inverso e trasposto; tensori simmetrici ed emisimmetrici; vettore assiale associato a tensori emisimmetrici; tensori ortogonali; formula di rappresentazione dei tensori di rotazione; invarianti di tensori: traccia e determinante; cofattore ed aggiunto; autovalori ed autovettori; rappresentazione spettrale di tensori. Parte sferica e deviatorica di un tensore. Calcolo delle caratteristiche di inerzia di figure piane. Analisi della deformazione di mezzi continui: misure di deformazione monodimensionali; fibra materiale e definizione di gradiente di deformazione; esempi di deformazioni elementari; teorema di decomposizione polare: tensori di stretch; misure di deformazione non lineari e linearizzazione del tensore di Green; deformazioni rigide finita ed infinitesima. Analisi della tensione. Postulato, lemma e teorema di Cauchy. Proprietà del tensore delle tensioni. Equazioni indefinite di equilibrio. Tensioni principali. Cerchi di Mohr.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Analisi Matematica I; Geometria e Algebra | |
| Metodo didattico: da definire con il docente titolare dell'insegnamento | |
| Materiale didattico: da definire con il docente titolare dell'insegnamento | |

| | |
|--|---------------------------------|
| Modalità di esame: da definire con il docente titolare dell'insegnamento | |
| Insegnamento: Scienza e tecnologie dei materiali | |
| Modulo: Fondamenti di scienza e tecnologia dei materiali | |
| CFU: 8 | SSD: ING-IND/22 |
| Ore di lezione: 40 | Ore di esercitazione: 16 |
| Anno di corso: II | Semestre: II |
| <p>Obiettivi formativi: Introdurre l'allievo alle relazioni che sussistono tra la struttura chimica e fisica dei materiali e le loro principali proprietà strutturali e funzionali. Acquisizione degli aspetti di base relativi all'effetto delle trasformazioni sulla struttura dei materiali. Acquisizione della capacità di distinguere e correlare tra loro le proprietà delle varie classi di materiali in modo da essere in grado di scegliere il materiale più adatto per un determinato tipo di applicazione, individuare le tecnologie necessarie per trasformare un materiale in prodotto, conoscere le principali tecniche di verifica del comportamento di un materiale in esercizio.</p> | |
| <p>Contenuti: Struttura dei materiali allo stato solido: strutture dei reticoli cristallini, materiali amorfi. Metodi sperimentali per la determinazione delle strutture cristalline e della morfologia. Diffrazione di raggi X, microscopia a scansione elettronica, microscopia a trasmissione elettronica. Difetti reticolari: difetti puntuali, difetti lineari (dislocazioni) e difetti bidimensionali. Diagrammi di fase: regola delle fasi di Gibbs, ruolo dell'energia libera di Gibbs nel determinare i diagrammi di fase, varie tipologie di diagrammi di fase. Aspetti cinetici e termodinamici dello sviluppo di microstrutture: velocità di nucleazione e di crescita. Diagrammi TTT. Il diagramma Fe-C. Superfici e fenomeni interfacciali. Proprietà ottiche e termiche dei materiali. Aspetti fondamentali del comportamento meccanico delle varie tipologie di materiali: equazioni costitutive. Comportamento elastico, plastico, elasto-plastico, visco-elastico e viscoso. Teoria della frattura. Analisi delle principali proprietà fisiche dei materiali metallici, ceramici, dei vetri, polimerici e dei compositi. Processi produttivi e tecnologie di trasformazione delle differenti classi di materiali. Proprietà elettriche dei materiali: la conduzione elettrica, i materiali conduttori, i semiconduttori intrinseci ed estrinseci, i dielettrici. Proprietà magnetiche dei materiali. Proprietà ottiche dei materiali. Proprietà termiche dei materiali. Esempi di progettazione e scelta dei materiali in alcune applicazioni.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Chimica I | |
| Metodo didattico: Lezioni e esercitazioni | |
| Materiale didattico: J.F. Shackelford, Scienza e Ingegneria dei Materiali, Pearson; W.D. Callister, Scienza e Ingegneria dei Materiali, una introduzione, Edises | |
| <p>Modalità di esame: 1. Compiti a casa (assegnati il martedì, da consegnare il giovedì), frequenza, $F_c > 70\%$. 2. Esercitazioni in aula (in itinere, in genere, il martedì), $F_e > 70\%$. 3. esame orale (100% del programma). Per chi non ottiene la sufficienza (50% del punteggio totale) in almeno il 70% delle esercitazioni in itinere, per chi ha F_c o $F_e < 70\%$ e per i fuoricorso, l'esame orale è integrato con una prova esercitativa.</p> | |

| | |
|---|-------------------------------|
| Insegnamento: Scienza e tecnologia dei materiali | |
| Modulo: Laboratorio di tecnologia dei materiali | |
| CFU: 6 | SSD: ING-IND/22 |
| Ore di lezione: 12 | Ore di laboratorio: 28 |
| Anno di corso: II | Semestre: II |
| <p>Obiettivi formativi: Conoscenza teorica e approccio sperimentale a tecniche di analisi strumentale per la determinazioni di proprietà rilevanti nelle applicazioni tecnologiche.</p> | |
| <p>Contenuti: Spettrometria per assorbimento atomico: principi chimico-fisici. Schema di funzionamento di uno spettrofotometro. Atomizzazione mediante fiamma o fornello di grafite. Analisi in assorbimento o emissione. Preparazione del campione. Riduzione delle interferenze. Spettrometria ottica di emissione al plasma (ICP-OES): principi fisico-chimici. Struttura e funzionamento di uno spettrometro ICP-OES. Preparazione del campione, analisi e interpretazione dei dati. Metodi per la riduzione delle interferenze. Analisi termica: principi fisici della dilatometria e della termogravimetria. Struttura di un apparecchio per l'analisi termica dei materiali. Preparazione del campione ed interpretazione dei risultati. Reometria stazionaria e in oscillatorio di soluzioni e fusi polimerici e di sospensioni. Caratterizzazione dinamico- meccanica dei materiali allo stato solido. Tecniche di misura della porosità di un solido: porosimetria ad intrusione di mercurio e microporosimetria a gas. Calcolo di: superficie specifica, diametro medio e distribuzione dimensionale dei pori. Attività sperimentale: esperienze di laboratorio basate su applicazioni delle tecniche apprese alla caratterizzazione e calcolo di proprietà fisico-chimiche dei materiali.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Chimica I | |
| Metodo didattico: lezioni, esercitazioni e attività di laboratorio | |
| Materiale didattico: Dispense a cura del docente | |
| Modalità di esame: presentazione di report relativi all'attività di laboratorio e colloquio orale | |

| | |
|--|---------------------------------|
| Insegnamento: Fenomeni di trasporto nelle tecnologie dei materiali | |
| Modulo: Fenomeni di trasporto | |
| CFU: 6 | SSD: ING-IND/24 |
| Ore di lezione: 36 | Ore di esercitazione: 12 |
| Anno di corso: III | Semestre: I |
| <p>Obiettivi formativi: Acquisizione dei concetti di bilancio di quantità di moto, di energia e di materia e degli strumenti matematici basilari finalizzati alle applicazioni per la determinazione dei profili di velocità, temperatura e concentrazione di materia. Impiego dei coefficienti semiempirici per la descrizione del trasporto tra le fasi in sistemi macroscopici di rilevanza ingegneristica.</p> | |
| <p>Contenuti: La viscosità e il meccanismo del trasporto della quantità di moto. Legge di Newton della viscosità. Equazione di continuità, equazione del moto ed equazione dell'energia meccanica. Distribuzione delle velocità nel moto turbolento (cenni). Trasporto tra le fasi in sistemi isotermici. Analisi dimensionale delle equazioni di bilancio. Definizione dei coefficienti d'attrito per flussi intubati e moto intorno a oggetti sommersi. Bilanci macroscopici di materia, quantità di moto ed energia meccanica in sistemi isotermi e relativo impiego nella risoluzione dei problemi di moto in regime stazionario. La conducibilità termica e il meccanismo del trasporto di energia. Legge di Fourier sulla conduzione del calore. Convezione forzata. Convezione naturale. Equazione dell'energia. Distribuzione delle temperature nel moto turbolento (cenni). Trasporto tra le fasi in sistemi non isotermi. Definizione del coefficiente di trasmissione termica per convezione forzata entro tubi ed intorno a oggetti sommersi. Bilanci macroscopici di energia ed energia meccanica e relativo impiego per la risoluzione di problemi in regime stazionario. La diffusività e il meccanismo di trasporto di materia. Legge di Fick della diffusione. Equazioni di continuità per una miscela. Trasporto tra le fasi in sistemi a più componenti. Definizione dei coefficienti binari di trasporto di materia in una fase per convezione forzata entro tubi e intorno a oggetti sommersi. Bilanci macroscopici di materia, quantità di moto, energia ed energia meccanica in sistemi a più componenti.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Termodinamica dei materiali | |
| Metodo didattico: da definire con il docente titolare dell'insegnamento | |
| Materiale didattico: da definire con il docente titolare dell'insegnamento | |
| Modalità di esame: da definire con il docente titolare dell'insegnamento | |

| | |
|---|---------------------------------|
| Insegnamento: Fenomeni di trasporto nelle tecnologie dei materiali | |
| Modulo: Principi di trasformazione dei materiali | |
| CFU: 6 | SSD: ING-IND/22 |
| Ore di lezione: 36 | Ore di esercitazione: 12 |
| Anno di corso: III | Semestre: I |
| <p>Obiettivi formativi: Scopo del corso è l'applicazione dei fenomeni di trasporto di quantità di moto, energia e materia alle tecnologie dei materiali. Le equazioni di bilancio sono applicate nell'ambito di processi di trasformazione di interesse ingegneristico caratterizzati dall'accoppiamento delle varie tipologie di trasporto.</p> | |
| <p>Contenuti: 1) Richiami sulle equazioni di variazione e loro impiego per la risoluzione di problemi in geometrie semplici (1 CFU): impiego delle equazioni del moto e dell'energia meccanica per la risoluzione di problemi in condizioni isoterme; effetti combinati di trascinamento e pressione; applicazioni delle equazioni dell'energia per la risoluzione di problemi in condizioni non isoterme. 2) Assunzioni semplificative comuni nelle tecnologie dei materiali (1 CFU): condizioni stazionarie e pseudo-stazionarie; lubrification approximation ed equazione di Reynolds per fluidi incomprimibili; moto fra piatti non paralleli; equazioni costitutive di fluidi non newtoniani ed implicazioni del comportamento non newtoniano nelle tecnologie di trasformazione. 3) Trasporto di particolato solido (1 CFU): leggi dell'attrito; agglomerazione e distribuzione delle pressioni nei contenitori e nelle tramogge; compattazione e trasporto di particolato solido. 4) Meccanismi di trasporto di calore e fusione nelle tecnologie di trasformazione dei materiali (1.5 FCU): conduzione di calore in solido semi-infinito con proprietà termo-fisiche costanti e non costanti; sorgenti di calore mobili; trasporto di calore conduttivo con e senza rimozione forzata del fuso; trasporto di calore per attrito e deformazione plastica. 5) Meccanismi di miscelazione, pressurizzazione e pompaggio ed applicazione delle equazioni di trasporto alle principali tecnologie di trasformazione dei materiali (1,5 CFU).</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Termodinamica dei materiali | |
| Metodo didattico: Lezioni ed esercitazioni in aula | |
| Materiale didattico: 1) Z. Tadmor, C. G. Gogos – Principles of Polymer Processing, Wiley Ed.; 2) R. B. Bird, W. E. Stewart – E. N. Lightfoot – Fenomeni di Trasporto, Wiley Ed. | |
| Modalità di esame: Scritto (esercizi numerici; durata 1,5-2 ore) + colloquio orale | |

| | |
|--|---------------------------------|
| Insegnamento: Chimica dei materiali | |
| CFU: 7 | SSD: CHIM/03 |
| Ore di lezione: 56 | Ore di esercitazione: -- |
| Anno di corso: III | Semestre: II |
| <p>Obiettivi formativi: L'obiettivo formativo è quello condurre alla comprensione delle correlazioni tra struttura chimica e proprietà chimico- fisiche e meccaniche di alcune classi di materiali. Di essi viene altresì descritta nei dettagli la preparazione chimica con lo scopo di fornire una panoramica dei processi di preparazione più importanti nella chimica dei materiali.</p> | |
| <p>Contenuti: Elettrochimica. I silicati. Materiali ceramici. Ceramiche a base di silicati. Ceramiche a base di ossidi. Impacchettamenti atomici e strutture. Ceramiche per usi speciali: superconduttori, materiali magnetici. <i>Parte III</i> Materiali polimerici. Cenni storici, concetti generali. Stereochimica. Cenni di analisi conformazionale. Sintesi delle macromolecole, polimerizzazione a stadi e polimeri ottenibili, cinetica e distribuzione delle masse molecolari. Polimerizzazione a stadi in sistemi aventi gruppi funzionali di non uguale reattività. Polimerizzazione in massa. Polimerizzazione in soluzione. Polimerizzazione interfacciale. Polimerizzazioni radicaliche, chimica e meccanismo. Polimerizzazione cationica e anionica. Polimerizzazione con catalizzatori di Ziegler Natta. Copolimeri. Reazioni dei polimeri, copolimeri a blocco ed a innesto. Trasformazioni chimiche e degradazione dei polimeri. Polimeri di interesse industriale, elastomeri, policondensati per fibre sintetiche, reticolati, materiali espansi. Caratterizzazione termica dei polimeri. Masse molecolari. Struttura. Polimeri per usi speciali: per alte prestazioni e cristalli liquidi. Cellulosa e derivati. Carta.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Chimica I | |
| Metodo didattico: Lezioni e esercitazioni | |
| Materiale didattico: Kotz, Chimica; Macromolecole, Scienza e Tecnologia, AIM Pacini Editore, Pisa; Sersale Materiali Ceramici | |
| Modalità di esame: colloquio orale | |

| | |
|--|---------------------------------|
| Insegnamento: Fisica dei materiali | |
| CFU: 9 | SSD: FIS/03 |
| Ore di lezione: 60 | Ore di esercitazione: 12 |
| Anno di corso: III | Semestre: II |
| <p>Obiettivi formativi: La finalità principale del corso è quella di fornire gli strumenti culturali di base di fisica dei materiali, con una attenzione particolare ai metalli ed ai semiconduttori. L'azione formativa si esplica attraverso la costruzione di opportuni modelli ed approssimazioni capaci di estrarre dalla complessità intrinseca dei materiali le principali proprietà fisiche.</p> | |
| <p>Contenuti: Reticoli di Bravais. Struttura cristallina del diamante e della zincoblenda. Legge di Bragg. Reticolo reciproco. Cristalli ionici e molecolari. Vibrazioni reticolari, fononi e calore specifico. Metalli: modello di Sommerfeld, conducibilità elettrica e funzione dielettrica. Bande di energia: modello a elettroni liberi e modello del legame forte. Massa efficace e lacune. Cristalli semiconduttori: struttura a bande di energia, legge dell'azione di massa, drogaggio e conducibilità elettrica. La giunzione P-N e le strutture MOSFET. Cenni sulle nanostrutture a semiconduttore e sulle loro applicazioni.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Fisica generale II | |
| Metodo didattico: lezioni ed esercitazioni in aula | |
| Materiale didattico: materiale fornito dal docente | |
| Modalità di esame: colloquio orale | |

| | |
|--|---------------------------------|
| Insegnamento: Comportamento meccanico dei materiali | |
| CFU: 9 | SSD: ING-IND/14 |
| Ore di lezione: 56 | Ore di esercitazione: 16 |
| Anno di corso: III | Semestre: II |
| <p>Obiettivi formativi: Fornire le conoscenze di base del comportamento meccanico dei materiali (fatica, meccanica della frattura e scorrimento viscoso alle alte temperature). Analizzare il comportamento a tensione e deformazione di elementi strutturali. Effettuare calcoli di verifica e proporzionamento di alcuni componenti meccanici.</p> | |
| <p>Contenuti: Prove statiche sui materiali: trazione, compressione, flessione, torsione. Comportamento dei materiali in regime elastico lineare, richiami di teoria della trave. Legame elasto-plastico; modelli di incrudimento. Richiami sull'instabilità dell'equilibrio elastico. Recipienti in parete sottile: definizioni, regime di membrana, equazioni di equilibrio. Recipienti cilindrici in parete spessa: equazione d'equilibrio, formule fondamentali. Fatica: terminologia, curve di Woehler, criterio del ciclo di isteresi, curve P-S-N. Effetto del precarico: diagrammi di Haigh-Soderberg, diagrammi di Goodman, diagramma di Smith. Effetto d'intaglio: fattori di concentrazione delle tensioni e delle deformazioni, formula di Neuber, intagli in serie, intagli in parallelo, intagli di scarico. Fattori di riduzione della resistenza a fatica, sensibilità all'intaglio. Elementi di micromeccanica del danno da fatica. Meccanismi di nucleazione, lunghezza di transizione micro-macrocricca. Morfologia delle superfici di frattura per fatica. Effetto del grado di finitura superficiale e dei trattamenti termici. Pallinatura, rullatura. Procedure di dimensionamento a fatica dei componenti intagliati: fatica elastica, shakedown, fatica plastica. Effetto sequenza, legge di danno di Palmgren e Miner, Metodi di conteggio. Meccanismo di Formazione delle Striature, curve sperimentali di propagazione. Modelli di Propagazione, effetto ritardo. Introduzione alla meccanica della frattura. Approccio energetico di Griffith. Criterio di Irwin, SIF, Tenacità alla frattura. Integrale J, CTOD. Prove di Tenacità a Frattura. Fracture Control: safe-life, fail-safe, proof testing. Transizione duttile-fragile nei materiali metallici: effetto della temperatura, della velocità di deformazione, della geometria e delle lavorazioni meccaniche. Dimensionamento statico e dinamico di componenti strutturali. Comportamento dei materiali ad alta temperatura. Creep, rilassamento, modelli reologici. Cenni sul metodo degli elementi finiti.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Elementi di Meccanica dei Solidi | |
| Metodo didattico: Lezioni frontali e esercitazioni in classe e in laboratorio | |
| Materiale didattico: Shigley, J. E., Budynas, R. G., Nisbett, J. K., & Amodio, D.. Progetto e costruzione di macchine. Milano: McGraw-Hill. Dispense fornite dal docente | |
| Modalità di esame: prova scritta e colloquio orale | |

Attività formative a scelta autonoma

| | |
|--|---------------------------------|
| Insegnamento: Chimica fisica dei materiali e delle superfici | |
| CFU: 6 | SSD: CHIM/02 |
| Ore di lezione: 38 | Ore di esercitazione: 10 |
| Anno di corso: III | Semestre: I |
| Obiettivi formativi: Fornire gli strumenti per applicare allo studio dei materiali cristallini e delle loro superfici, i concetti appresi dalla fisica, dalla termodinamica dei materiali e dalla chimica generale. | |
| Contenuti: materiali cristallini nella scienza dei materiali: richiami di cristallografia fisica, e di teoria dei gruppi. La descrizione del legame chimico: rapporti tra l'ambito molecolare e l'ambito cristallino. La traduzione dei concetti di orbitale molecolare e di legame di valenza nella teoria delle bande. Materiali cristallini e materiali amorfi: quantificazione del disordine strutturale e funzioni di correlazione di coppia atomica. Classi di solidi e loro proprietà elettroniche; Materiali molecolari e materiali polimerici; Solidi covalenti e solidi ionico-covalenti, silicati e semiconduttori; Solidi ionici; Solidi metallici: teoria di Pauling del legame delocalizzato nei metalli. Spettroscopia vibrazionale dello stato solido: informazione sulla struttura locale e sui moti di larga ampiezza. I difetti puntuali nei solidi e le spettroscopie ottiche e magnetiche. Indicizzazione delle superfici e reticolo reciproco. Criteri di stabilità delle superfici. Il legame chimico alla superficie dei solidi: la chimica e la fisica del rilassamento e della ricostruzione alla superficie. Tecniche spettroscopiche e microscopiche nella scienza delle superfici: le microscopie ottiche, elettroniche, ed a scansione di punta (SPM), la diffrazione superficiale di ioni ed elettroni lenti. | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Termodinamica macroscopica | |
| Metodo didattico: lezioni in aula con l'ausilio di grafica molecolare | |
| Materiale didattico: appunti del corso e capitoli di: C. Kittel, Introduzione alla Fisica dello Stato Solido | |
| Modalità di esame: interrogazione scritta e breve attività seminariale | |

| | |
|---|---------------------------------|
| Insegnamento: Scienza e Tecnologia di Superfici e Interfacce | |
| CFU: 6 | SSD: ING-IND/22 |
| Ore di lezione: 32 | Ore di esercitazione: 16 |
| Anno di corso: III | Semestre: I |
| <p>Obiettivi formativi: Il corso è finalizzato all'acquisizione delle conoscenze fondamentali dei principi fisico-chimici che governano i fenomeni superficiali ed interfacciali, delle tecniche di indagine, dei processi tecnologici e dei materiali utilizzati per l'ingegnerizzazione di superfici ed interfacce per specifiche applicazioni. Gli argomenti trattati durante il corso comprendono sia aspetti di chimica e fisica di superfici ed interfacce, sia lo studio approfondito dei fenomeni coinvolti. Saranno inoltre analizzate le tecnologie necessarie allo sviluppo di superfici ed interfacce funzionali e le relative tecniche di studio e caratterizzazione.</p> | |
| <p>Contenuti: Aspetti teorici (2.5 CFU): Introduzione alle superfici. Definizione di interfaccia, tipologie (solido/gas, solido/liquido, liquido/gas, liquido/liquido, solido/solido) e caratteristiche. Termodinamica di superfici ed interfacce. Forze di interazione in sistemi interfacciali e forze di superficie. Superfici liquide. Superfici solide. Angolo di contatto e bagnabilità. Adesione. Adsorbimento fisico e chimico. (2.5 CFU). Classi di materiali (1.75 CFU): Sistemi colloidali, flocculazione e coagulazione. Tensioattivi, micelle, emulsioni e schiume. monostrati auto-assemblati. Tecnologie e tecniche di caratterizzazione (1.75 CFU): Modifiche superficiali. Deposizione da soluzione, realizzazione di coating, proprietà e funzionalità. Tecniche di patterning superficiale. Tecniche di caratterizzazione superficiale e interfacciale. Tecniche per lo studio di fenomeni superficiali interfacciali.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Scienza e Tecnologia dei Materiali | |
| Metodo didattico: da definire con i docente titolare dell'insegnamento | |
| Materiale didattico: da definire con i docente titolare dell'insegnamento | |
| Modalità di esame: da definire con i docente titolare dell'insegnamento | |

| | |
|--|---------------------------------|
| Insegnamento: Meccanica dei veicoli | |
| CFU: 6 | SSD: ING-IND/13 |
| Ore di lezione: 36 | Ore di esercitazione: 12 |
| Anno di corso: III | Semestre: II |
| <p>Obiettivi formativi: Obiettivo del corso è quello di fornire le conoscenze di meccanica dei meccanismi e delle macchine con particolare riferimento ai fenomeni dinamici derivanti dal loro funzionamento. Acquisire nozioni fondamentali relative allo scambio di lavoro nelle macchine e alle loro caratteristiche operative. Gli allievi svolgono parte del lavoro in laboratorio prendendo confidenza con alcuni sistemi meccanici reali per acquisire una certa sensibilità numerica nelle misure.</p> | |
| <p>Contenuti: Richiami di principi generali di meccanica: le equazioni cardinali della dinamica, il principio di d'Alembert, equazione dell'energia cinetica, sistema ridotto di una macchina. Coppie cinematiche, catene cinematiche, sistemi articolati. Le resistenze passive: l'attrito radente e volvente; fenomeni di isteresi elastica. Rendimento meccanico. Il funzionamento delle macchine: caratteristica meccanica di una macchina; funzionamento a regime di una macchina e di un gruppo. La necessità della regolazione. Studio cinematico e dinamico del manovellismo di spinta rotativa. L'uniformità del momento motore nelle macchine alternative. Vibrazioni meccaniche: fenomeni vibratorii elementari. Isolamento attivo e passivo delle vibrazioni. Problemi dinamici nelle macchine: le velocità critiche flessionali e torsionali. Trasmissioni meccaniche: trasmissioni con ruote ad attrito e con ruote dentate, rotismi. Trasmissioni con organi flessibili. La lubrificazione idrodinamica nelle macchine.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Analisi Matematica I | |
| Metodo didattico: lezioni ed esercitazioni in aula | |
| Materiale didattico: "Lezioni di meccanica applicata alle macchine" E. Funaioli A, Maggiore U. Meneghetti | |
| Modalità di esame: colloquio orale | |

| | |
|---|---------------------------------|
| Insegnamento: Reologia | |
| CFU: 6 | SSD: ING-IND/24 |
| Ore di lezione: 32 | Ore di esercitazione: 16 |
| Anno di corso: III | Semestre: II |
| <p>Obiettivi formativi: Analizzare il legame tra la microstruttura dei fluidi complessi e le loro proprietà macroscopiche, con particolare riferimento al comportamento in flusso e deformazione</p> | |
| <p>Contenuti: Cenni di reologia. Flusso, deformazione, forze. Viscosità e viscoelasticità. Sistemi micro-strutturati. Relazioni tra proprietà reologiche e microstruttura. Esempi: sistemi macromolecolari, emulsioni, sospensioni. Modellistica macromolecolare. Leggi di scala. Il modello del dumbbell elastico lineare. Il modello di Rouse-Zimm. Previsioni dei modelli per soluzioni diluite. Sistemi concentrati. Entanglements e dinamica dei sistemi concentrati. I concetti di tubo e reptation. Previsioni dei modelli per sistemi concentrati. Relazioni proprietà-struttura. Effetto del peso molecolare e della sua distribuzione. Effetto dell'architettura molecolare (polimeri lineari, ramificati, a stella). Sistemi acquosi e di interesse biologico (sangue, muco). Tensioattivi. Sistemi micellari. Sospensioni. Schiume.</p> | |
| Prerequisiti: | |
| Metodo didattico: Lezioni ed esercitazioni | |
| Materiale didattico: 1) appunti delle lezioni; 2) R.G. Larson, "The structure and rheology of complex fluids", Oxford University Press, New York 1999; 3) C.W. Macosko, "Rheology", Wiley-VCH 1994 | |
| Modalità di esame: Colloquio orale | |

| | |
|--|---------------------------------|
| Insegnamento: Introduzione alla meccanica non lineare dei mezzi continui | |
| CFU: 6 | SSD: ICAR/08 |
| Ore di lezione: 30 | Ore di esercitazione: 30 |
| Anno di corso: III | Semestre: II |
| <p>Obiettivi formativi: Il corso è finalizzato all'acquisizione delle conoscenze fondamentali della meccanica non-lineare dei solidi e delle strutture, sia sotto il profilo del legame costitutivo che della configurazione geometrica. Durante il corso saranno esaminati e discussi diversi casi di interesse generale, dalla micro alla macro-scala.</p> | |
| <p>Contenuti: Il comportamento dei materiali oltre il dominio dell'elasticità lineare: snervamento, plasticità e rottura. Comportamento duttile e comportamento fragile. I domini di resistenza. La teoria dello scorrimento plastico e la teoria della deformazione plastica. La meccanica della frattura. Metodi di analisi numerica e modellazione di problemi all'elaboratore. I solidi e le strutture in regime di non linearità geometrica. Molteplicità delle soluzioni e classificazione dell'equilibrio. I metodi variazionali. Il metodo di Ritz. Sistemi monodimensionali e sistemi bidimensionali. Modellazione e analisi di problemi con l'ausilio dell'elaboratore elettronico.</p> | |
| Prerequisiti / Propedeuticità: Analisi Matematica, Scienza delle Costruzioni | |
| Metodo didattico: Lezioni ed esercitazioni | |
| Materiale didattico: Appunti delle lezioni. F.Guarracino, A.C. Walker: Energy Methods in Structural Mechanics. Telford, 1999. | |
| Modalità di esame: Prova orale con discussione delle applicazioni svolte durante il corso. | |