



**Anno accademico 2023/24**



**Corso di laurea in  
INGEGNERIA CHIMICA (BCHR)**

**Classe L 9 – Ingegneria industriale**

**SYLLABUS**

# Regolamento Didattico

## Sezione I – Offerta formativa

### Obiettivi formativi specifici

Gli obiettivi formativi del corso di laurea in Ingegneria chimica sono:

- solida preparazione nelle scienze di base (matematica, fisica e chimica) e nelle scienze generali dell'ingegneria (elettrotecnica, macchine, materiali e scienza delle costruzioni) che consenta al laureato di interagire con altri specialisti;
- comprensione dei principi termodinamici, delle operazioni unitarie e dei sistemi reattivi, nonché degli aspetti relativi alla progettazione degli impianti, indirizzata alla gestione delle trasformazioni chimico-fisiche dei materiali, attraverso la conoscenza e la capacità di selezionare le tipologie dei processi, le condizioni operative e le apparecchiature in cui realizzarli.

### Descrizione del percorso di formazione

Il percorso formativo del corso di laurea in Ingegneria Chimica prevede un unico curriculum, articolato su 3 anni. Nel primo anno prevalgono nettamente le attività formative di base, finalizzate all'acquisizione di conoscenze e metodologie proprie della matematica, della fisica e della chimica che costituiscono i fondamenti necessari per la comprensione dei fenomeni che sono alla base della trasformazione della materia; queste attività si completano entro il secondo anno di corso. A partire dal secondo anno prevalgono, invece, le attività caratterizzanti e quelle affini e integrative, volte all'acquisizione dei fondamenti teorici e dei concetti chiave dell'ingegneria chimica e dell'ingegneria industriale. Queste attività iniziano al primo anno, con l'acquisizione di conoscenze di chimica industriale organica, e si intensificano al secondo anno, con l'acquisizione delle conoscenze relative alle caratteristiche e agli impieghi dei materiali e dell'acqua utilizzata nei processi, agli aspetti teorici e metodologici della termodinamica, nonché ai fondamenti tecnici progettazione di strutture e dell'utilizzo dell'energia elettrica. Nel corso del terzo anno si completa l'acquisizione dei fondamenti teorici e metodologici relativi all'analisi dei dati, al trasporto di materia, calore e quantità di moto, alle operazioni di separazione ed alle apparecchiature ed impianti in cui esse si realizzano, e si acquisiscono le conoscenze relative ai più importanti processi chimici nonché le conoscenze dei fondamenti tecnici la base del funzionamento delle macchine termiche e di quelle usate per la movimentazione dei fluidi.

Il corso è completato dalle attività formative a scelta libera, in cui lo studente può approfondire argomenti di suo specifico interesse, da quelle volte alla conoscenza dell'informatica e della lingua inglese: a tale riguardo, la Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale mette a disposizione corsi di lingua inglese di vario livello, tenuti da lettori madrelingua per consentire agli studenti di accrescere le proprie competenze linguistiche, con particolare riguardo al campo tecnico. È previsto, inoltre, lo svolgimento di una prova finale, che consiste nella stesura e presentazione di un elaborato su argomenti inerenti gli insegnamenti del corso di studi. Non sono previste attività pratiche professionalizzanti, ma è possibile associare le attività relative alla prova finale ad un tirocinio presso aziende o enti di ricerca.

Per ciascun insegnamento sono previste lezioni frontali, accompagnate da esercitazioni, laboratori, lavori di gruppo, ed ogni altra attività che il docente ritenga utile alla didattica. La verifica dell'apprendimento avviene di norma attraverso un esame che può prevedere prove scritte, orali e/o pratiche secondo modalità definite dal docente e indicate nel programma del corso. Per alcune attività non è previsto un esame ma un giudizio di idoneità; anche in questo caso le modalità di verifica sono definite dal docente.

### **Sbocchi occupazionali e professionali previsti per i laureati**

Lo sbocco più naturale del laureato di primo livello è il proseguimento della formazione con un'ulteriore specializzazione nella laurea magistrale nella classe LM22 (Ingegneria Chimica) o in altre lauree magistrali affini, quali, ad esempio, quelle delle classi LM26 (Ingegneria della sicurezza) e LM53 (Scienza e Ingegneria dei Materiali).

Gli sbocchi nel mondo del lavoro sono principalmente collegati alle competenze professionalizzanti acquisite durante il corso di studi e comprendono posizioni in aziende, enti ed istituti coinvolti, a vario titolo, con i processi di trasformazione delle sostanze, dei materiali e dell'energia.

Gli ambiti nei quali un Ingegnere Chimico con laurea triennale può essere occupato, con le funzioni già più sopra dettagliate, sono i seguenti:

- Impianti chimici di produzione e trasformazione delle sostanze chimiche, raffinerie, complessi petrolchimici, industrie farmaceutiche, alimentari, biotecnologiche, ecc.
- Impianti di trasformazione delle materie prime e produzione e lavorazione dei materiali (metalli, polimeri, ceramici, vetri, compositi) per applicazioni nei diversi campi dell'ingegneria (chimica, meccanica, aerospazio, elettrica ed elettronica, energia, edilizia, trasporti, biomedica, beni culturali).
- Società di ingegneria che progettano, sviluppano e realizzano processi e impianti.
- Impianti di depurazione e trattamento acque e rifiuti.
- Laboratori e strutture pubbliche addetti all'ispezione e al controllo ambientale e della sicurezza.
- Centri di ricerca e laboratori industriali di ricerca e sviluppo in aziende ed enti pubblici e privati nei diversi campi dell'ingegneria chimica, di processo e di prodotto.

### **Curricula/ Indirizzi**

Il percorso formativo è unico.

## BCHR: MANIFESTO DEGLI STUDI 2023/24

### I anno

Insegnamento	SSD	CFU	Tipo	Valutazione	Periodo didattico	Tipologia attività
Analisi matematica I	MAT/05	9	CR	E	1	1.A
Chimica	CHIM/07	9	CR	E	1	1.A
Geometria	MAT/03	9	CR	E	1	1.A
Fisica Generale I	FIS/01	9	CR	E	2	1.A
Analisi matematica II	MAT/05	9	CR	E	2	1.A
Chimica industriale organica	ING-IND/27	9	CR	E	2	1.B

### II anno

Insegnamento	SSD	CFU	Tipo	Valutazione	Periodo didattico	Tipologia attività
Fisica Generale II	FIS/01	9	CR	E	3	1.A
Materiali (U.D.I)	ING-IND/21	12	CR	E	3	1.B
	ING-IND/22					
Scienza delle costruzioni	ICAR/08	6	CR	E	3	1.B
Macchine	ING-IND/08	9	CR	E	4	5.B
Tecnologie di chimica applicata	ING-IND/22	9	CR	E	4	1.B
Termodinamica per l'ingegneria chimica	ING-IND/24	9	CR	E	4	1.B
Laboratorio di Informatica	AAF	6	CL	V	4	5.D

### III anno

Insegnamento	SSD	CFU	Tipo	Valutazione	Periodo didattico	Tipologia attività
Fenomeni di trasporto I	ING-IND/24	6	CR	E	5	1.B
Laboratorio di analisi dei dati	ING-IND/26	6	CL	E	5	1.B
Fondamenti delle operazioni di separazione	ING-IND/24	6	CR	E	5	1.B
Processi chimici industriali	ING-IND/27	9	CR	E	6	1.B
Impianti chimici	ING-IND/25	12	CR	E	6	1.B
Elettrotecnica	ING-IND/31	9	CR	E	6	5.B

### Altre attività formative

Attività	CFU
A scelta dello studente *	12
Per la conoscenza della lingua Inglese	3
Prova finale	3

\* Gli insegnamenti a scelta possono essere seguiti dagli studenti al II o al III anno. Fino a 6 CFU delle attività a scelta dello studente possono essere coperti da periodi di stage di minimo 3 mesi, previa presentazione e approvazione da parte del CAD di un dettagliato progetto di tirocinio concordato con l'azienda.

### Legenda

CFU: Crediti Formativi Universitari

SSD: Settore Scientifico Disciplinare

*U.D.I.: Unità Didattica Integrata*

*Tipo di insegnamento:*

CR: corso regolare

CL: corso di laboratorio

CM: corso monografico

*Esame:*

E: esame,

V: giudizio idoneità

*Tipologia attività:*

1A: attività formativa di base

1B: attività formativa caratterizzante

5A: attività formativa a scelta dello studente

5B: attività formativa affine ed integrativa

5C: attività formativa relativa alla prova finale

5D: altre attività formative (art 10, comma 1 lettera d)

5E: stage e tirocinio

*Semestre:*

1: 1° semestre del I anno

2: 2° semestre del I anno

3: 1° semestre del II anno

4: 2° semestre del II anno

5: 1° semestre del III anno

6: 2° semestre del III anno.

I programmi degli insegnamenti sono consultabili sul sito internet <https://corsidilaurea.uniroma1.it/it/corso/2023/29907/programmazione> e sui siti dei singoli docenti.

### **Percorso formativo**

Il percorso formativo viene personalizzato con i 12 CFU a scelta libera dello studente, che deve quindi presentare un Piano di studi, per formalizzare le scelte effettuate. Il Consiglio d'Area Didattica in Ingegneria Chimica e Materiali valuta se le scelte effettuate sono coerenti con il progetto formativo e, in caso positivo, approva il Piano di studi. Lo studente può presentare il Piano di studi una sola volta nel periodo che va dal 1 ottobre al 20 marzo dell'anno successivo: ulteriori informazioni sui piani di studio sono riportate nella pagina apposita del sito del Consiglio di Area Didattica in Ingegneria Chimica e Materiali (<https://web.uniroma1.it/cdaingchim/piani-di-studio/piani-di-studio>) dove è anche presente un elenco di corsi consigliati per il completamento del piano di studi.

### **Metodi di accertamento del conseguimento dei risultati attesi**

La verifica dell'apprendimento relativa a ciascun insegnamento avviene di norma attraverso un esame, che può provvedere prove scritte, pratiche e/o orali secondo modalità definite dal docente e precisate sul sito del corso di studi. Per le attività volte alla conoscenza dell'informatica e della lingua inglese non è previsto un esame ma un giudizio di idoneità, secondo modalità di verifica definite dal docente.

L'accertamento del conseguimento di conoscenze e comprensione e di capacità di applicare conoscenza e comprensione nelle varie aree di apprendimento da parte di ciascun allievo è affidata alle prove di verifica dei singoli insegnamenti, che, a seconda dei casi, possono prevedere prove scritte, pratiche e/o orali, e, in qualche caso, lo svolgimento di una tesina.

L'accertamento del conseguimento dei risultati attesi in termini di autonomia di giudizio, abilità comunicative e capacità di apprendimento avviene sia nel corso delle prove di esame orale che nelle attività connesse alla preparazione e alla presentazione della relazione finale.

### **Propedeuticità**

Sono previste le propedeuticità riportate nella tabella seguente:

<b>Non si può sostenere l'esame di</b>	<b>Se non si è superato l'esame di</b>
Analisi matematica II	Analisi Matematica I
Chimica industriale organica	Chimica
Fisica II	Fisica I
Materiali	Chimica I
Elettrotecnica	Fisica II
Termodinamica per l'Ingegneria Chimica I	Analisi matematica I, Fisica I
Scienza delle costruzioni	Analisi matematica I, Fisica I
Tecnologie di chimica applicata	Chimica I
Fondamenti delle operazioni di separazione	Termodinamica per l'Ingegneria Chimica I
Fenomeni di trasporto	Termodinamica per l'Ingegneria Chimica I
Impianti chimici I	Fondamenti delle operazioni di separazione
Macchine	Analisi matematica I, Fisica I

Lo studente può essere autorizzato dal Presidente del Consiglio d'Area Didattica in Ingegneria chimica e materiali a sostenere esami in deroga alle propedeuticità sopra definite se attesta di aver riportato una valutazione sufficiente agli esami propedeutici, ma di aver rinunciato al voto.

### **Servizi di tutorato**

È previsto uno specifico servizio di tutoraggio per gli studenti:

- iscritti al I anno di corso: tutor Prof.ssa Paola Russo
- iscritti al II anno di corso: tutor Prof.ssa Cecilia Bartuli
- iscritti al III anno di corso, nonché per gli studenti ripetenti e fuoricorso: tutor Prof.ssa Barbara Mazzarotta.

Anche i seguenti docenti svolgono attività di tutorato e orientamento:

Prof.ssa Alessandra Adrover, Prof. ssa Maria Cristina Annesini, Prof. Roberto Capata, Prof. Marco Centini, Prof. Stefano Cerbelli, Prof. Paolo De Filippis, Prof.ssa Francesca Romana Maradei, Prof. Mauro Pasquali, Prof. Angelo Schiavi

Il Corso di Laurea si avvale, inoltre, dei servizi di tutorato messi a disposizione dalla Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale, utilizzando anche appositi contratti integrativi.

Tutti i docenti del Corso di Laurea svolgono attività di tutorato disciplinare a supporto degli studenti, negli orari pubblicati sui rispettivi siti.

### **Sito Web**

Per ulteriori informazioni si può consultare il sito web del Consiglio di Area Didattica in Ingegneria Chimica e Materiali: <https://web.uniroma1.it/cdaingchim/>

L'indirizzo e-mail del corso di studio è: [cda\\_ingchim@uniroma1.it](mailto:cda_ingchim@uniroma1.it).

## **Sezione II – Norme generali**

### **Requisiti di ammissione**

Per essere ammessi al corso di Laurea occorre essere in possesso di un diploma di scuola secondaria superiore ovvero di altro titolo di studio conseguito all'estero, riconosciuto idoneo.

Per una proficua partecipazione all'iter formativo lo studente deve possedere un'adeguata capacità di comprensione di testi e capacità logiche di base che gli consentiranno di affrontare con metodo lo studio e l'analisi dei problemi. Inoltre, per affrontare un percorso formativo di tipo scientifico-tecnologico, lo studente dovrà conoscere gli elementi fondativi del linguaggio della matematica, della fisica e della chimica.

### **Modalità di verifica delle conoscenze in ingresso**

La verifica delle conoscenze necessarie per l'ammissione al corso di studio avviene attraverso test di ingresso; il numero programmato di posti è suddiviso in tre successive finestre temporali (selezioni); per la partecipazione a una selezione è necessario avere sostenuto il test TOLC-I, organizzato e gestito dal consorzio CISIA. Il bando del concorso per l'ammissione al corso di studio, pubblicato nella sezione Iscriverti del corso di studio (<https://corsidilaurea.uniroma1.it/>) riporta i requisiti di accesso alla procedura di ammissione, le modalità di iscrizione alle selezioni e i criteri per la formazione delle graduatorie.

Nel caso in cui la verifica non sia positiva è necessario assolvere a obblighi formativi aggiuntivi (OFA) entro il primo anno di studi.

### **Esami fuori Facoltà**

Gli studenti che si immatricolano al corso di Laurea in Ingegneria Chimica possono sostenere i due esami previsti dall'art. 6 del Regio Decreto n. 1269 del 4 giugno 1938 solo dopo aver acquisito 40 CFU nel corso di laurea a cui sono iscritti e dopo avere richiesto ed ottenuto l'approvazione del Consiglio di Area Didattica in Ingegneria Chimica e Materiali.

### **Periodi di studio all'estero**

I corsi seguiti nelle Università Europee o estere, con le quali la Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale abbia in vigore accordi, progetti e/o convenzioni, vengono riconosciuti secondo le modalità previste dagli accordi.

Gli studenti possono, previa autorizzazione del Consiglio d'Area in Ingegneria Chimica e Materiali, svolgere un periodo di studio all'estero nell'ambito dei programmi comunitari Erasmus+ (presso Atenei) ed Erasmus Placement (presso Aziende) per informazioni: <https://web.uniroma1.it/cdaingchim/erasmus/erasmus>.

Gli studenti possono, inoltre, svolgere il lavoro finale presso università, laboratori o centri di ricerca all'estero; in questo caso, possono usufruire delle borse per tesi di laurea all'estero messe a concorso dalla Facoltà.

In conformità con il Regolamento didattico di Ateneo, nel caso di studi, esami e titoli accademici conseguiti all'estero, il Corso di Laurea esamina di volta in volta il programma dei corsi seguiti, ai fini dell'attribuzione dei CFU nei corrispondenti settori scientifici disciplinari.

### **Studenti Part-time**

Gli immatricolandi e gli studenti del corso di studio che sono contestualmente impegnati in altre attività possono richiedere di fruire dell'istituto del part-time e conseguire un minor numero di CFU annui, in luogo dei 60 previsti. Le norme e le modalità relative all'istituto del part-time sono indicate nel Regolamento di Ateneo: per informazioni: <https://www.uniroma1.it/it/pagina/part-time>. Il Consiglio di Area Didattica in Ingegneria Chimica e Materiali nominerà, per ogni studente a tempo parziale, un tutor che potrà guidarlo nella scelta del percorso formativo.

### **Studenti immatricolati a ordinamenti precedenti**

Gli studenti iscritti al Corso di Laurea di Ingegneria Chimica con ordinamenti precedenti a quello attuale possono chiedere il passaggio all'Ordinamento attualmente vigente, presentando domanda al Consiglio di Area Didattica in Ingegneria Chimica e Materiali a cui dovranno allegare la documentazione sugli esami sostenuti. Il Consiglio delibererà in merito ai CFU riconosciuti e contestualmente fornirà allo studente indicazioni per la presentazione di un Piano di studi individuale che, nel rispetto dell'ordinamento didattico, tenga conto del percorso già svolto.

### **Trasferimenti**

Gli studenti che intendono trasferirsi al Corso di Laurea in Ingegneria Chimica devono presentare domanda al Consiglio di Area Didattica in Ingegneria Chimica e Materiali per il riconoscimento dei CFU acquisiti e le indicazioni per la presentazione di un Piano di studi individuale, che, nel rispetto dell'ordinamento didattico tenga conto del percorso già svolto.

# Insegnamenti: Programmi e informazioni

Di seguito si riportano le informazioni (obiettivi, programmi, testi di riferimento, modalità di erogazione, modalità di valutazione) relative agli insegnamenti, organizzati per anno e semestre di erogazione.

## **Primo anno – I semestre**

### **Analisi Matematica I (9 CFU)**

**Prof.ssa Isabella Ianni** ([isabella.ianni@uniroma1.it](mailto:isabella.ianni@uniroma1.it))

#### **Obiettivi**

Lo scopo di questo corso è quello di approfondire la comprensione delle idee e delle tecniche di integrale e calcolo differenziale per funzioni di una variabile. Queste idee e tecniche sono fondamentali per la comprensione degli altri corsi di analisi, di calcolo delle probabilità, della meccanica, della fisica e di molti altri settori della matematica pura e applicata. L'enfasi è sulla comprensione di concetti fondamentali, sul ragionamento logico, sulla comprensione del testo e sull'acquisizione di capacità di risolvere problemi concreti. Gli studenti che frequentano questo corso dovranno

- sviluppare una comprensione delle idee principali del calcolo in una dimensione,
- sviluppare competenze nel risolvere esercizi e discutere esempi
- conoscere i concetti centrali di analisi matematica

ed alcuni elementi di matematica applicata che saranno utilizzati negli anni successivi.

Attraverso la frequenza regolare alle lezioni e alle esercitazioni del docente e alle spiegazioni supplementari del tutore gli studenti potranno sviluppare competenze nella comprensione e nella esposizione, scritta e verbale di concetti matematici e logici.

#### **Programma**

- Introduzione.

Richiami sugli insiemi: definizioni, notazioni, operazioni.

Richiami sugli insiemi numerici: numeri naturali, interi, razionali e reali. Relazione d'ordine. Proprietà di densità dei razionali. Insiemi limitati: estremo superiore ed inferiore, massimo e minimo. Cenni sulla proprietà di completezza dei reali.

Richiami sul concetto di funzione: dominio, codominio, immagine, controimmagine, grafico, iniettività, suriettività, biiettività. Funzioni di variabile reale: funzioni limitate, simmetriche, monotone, periodiche. Operazioni sui grafici. Funzioni invertibili e funzione inversa. Funzioni composte. Funzioni elementari (segno, parte intera, impulso, valore assoluto, potenze reali, esponenziali, logaritmi, funzioni trigonometriche, Funzioni trigonometriche inverse, funzioni iperboliche).

Simbolo di sommatoria: somma della progressione geometrica. Fattoriale e coefficiente binomiale.

- Numeri complessi.

Unità immaginaria. Forma algebrica, trigonometrica ed esponenziale dei numeri complessi. Le 4 operazioni elementari. Coniugato e modulo di un numero complesso. Potenze, radici, polinomi, esponenziali; equazioni in campo complesso. Cenni al teorema fondamentale dell'algebra.

- Successioni e serie numeriche.

Limite di successioni e proprietà di unicità del limite. Successioni limitate. Infinitesimi ed infiniti. Successioni irregolari. Teoremi di confronto (confronto, permanenza del segno, carabinieri e conseguenze). Il simbolo di "o" piccolo. Algebra dei limiti. Casi di indecisione. Successioni monotone: teorema di regolarità. Alcuni limiti notevoli. Formula di Stirling. Cenni di sottosuccessioni.



Serie numeriche: definizioni e proprietà. Serie armonica, geometrica e serie telescopiche. Condizione necessaria per la convergenza di una serie. Serie a termini non negativi e teorema di regolarità. Criteri di convergenza per serie a termini non negativi: criterio del confronto e del confronto asintotico, del rapporto, della radice. Serie armonica generalizzata. Serie a termini di segno qualunque: assoluta convergenza, criterio del rapporto e della radice, serie a segni alterni e criterio di Leibniz.

- Limiti e continuità delle funzioni di una variabile.

La nozione di limite e sue proprietà. Simbolo di "o" piccolo. Definizione di continuità. Continuità e operazioni elementari. Punti di discontinuità. Teorema degli zeri, Teorema dei valori intermedi, Teorema di Weierstrass. Continuità di funzioni composte e di funzioni inverse. Asintoti.

- Calcolo differenziale per funzioni di una variabile.

Il concetto di derivata e sue proprietà: significato geometrico, derivabilità implica continuità. Derivate elementari. Algebra delle derivate. Derivata della funzione composta e della funzione inversa. Punti di non derivabilità. Caratterizzazione delle funzioni costanti su intervalli. Estremi locali e Teorema di Fermat. Teorema di Lagrange e Criterio di monotonia. Derivate di ordine superiore: concavità e convessità. Studio del grafico di una funzione di variabile reale. Teorema di De L'Hopital. Formula di Taylor (cenni alle serie di Taylor).

- Teoria dell'integrazione.

Definizione dell'integrale di Riemann e sue proprietà. Significato geometrico. Classi di funzioni integrabili. Teorema della media. La funzione integrale e la sua derivata. Integrale indefinito: funzioni primitive e loro caratterizzazione. Il Teorema fondamentale del calcolo integrale. Calcolo di integrali per funzioni elementari. Alcuni metodi di integrazione (per parti, per sostituzione, funzioni razionali, funzioni trigonometriche, alcune funzioni irrazionali). Integrali di funzioni discontinue. Integrali impropri: criteri di convergenza al finito e all'infinito.

- Equazioni differenziali.

Equazioni del primo ordine in forma normale: teoremi di esistenza locale (di Peano) e di esistenza e unicità (di Cauchy) per il problema di Cauchy. Equazioni lineari del primo ordine: caso omogeneo, caso non omogeneo e metodo di variazione delle costanti. Equazioni del primo ordine di Bernoulli. Equazioni del primo ordine a variabili separabili. Equazioni del secondo ordine lineari a coefficienti costanti: risoluzione del caso omogeneo, risoluzione del caso non omogeneo col metodo di similitudine e col metodo di variazione delle costanti, principio di sovrapposizione.

### **Testi adottati**

Per la teoria:

M. Bertsch, A. Dall'Aglio, L. Giacomelli: Epsilon 1, Primo corso di Analisi Matematica, McGraw Hill

Per gli esercizi:

P. Marcellini, C. Sbordone: Esercitazioni di Matematica, Liguori Editore

### **Bibliografia di riferimento**

G. Crasta, A. Malusa: Matematica 1. Teoria ed Esercizi, Pitagora Ed. G. Crasta, A. Malusa: Matematica 2. Teoria ed Esercizi, Pitagora Ed. M. Bertsch, R. Dal Passo, L. Giacomelli: Analisi Matematica, McGraw Hill. M. Bramanti: Esercitazioni di Analisi Matematica 1, Esculapio Editore

### **Prerequisiti**

La teoria degli insiemi. Gli insiemi numerici:  $\mathbb{N}$  dei naturali,  $\mathbb{Z}$  degli interi,  $\mathbb{Q}$  dei razionali e introduzione a  $\mathbb{R}$  dei reali. Monomi. Polinomi: operazioni con i polinomi, divisione tra polinomi, teorema di Ruffini e teorema del resto. Prodotti notevoli e scomposizione di polinomi. Frazioni algebriche. Il valore assoluto. I radicali. Esponenziali e logaritmi. Trigonometria. Equazioni e disequazioni: lineari, fratte, letterali, di secondo grado e di grado superiore al secondo,

irrazionali, con valori assoluti, con esponenziali e logaritmi, con funzioni trigonometriche, sistemi. Concetto di funzione. Funzioni di una variabile e loro rappresentazione grafica. Proprietà delle funzioni elementari.

### **Modalità di valutazione**

La prova scritta è obbligatoria, consiste in domande aperte, domande a scelta multipla, esercizi ad ha una durata di 2 ore.

E' superata con votazione maggiore o uguale a 18/30.

A discrezione del docente, gli studenti che hanno superato la prova scritta possono essere chiamati a sostenere anche un breve colloquio orale di integrazione dello scritto.

Inoltre gli studenti con voto allo scritto maggiore o uguale a 26/30 possono chiedere di sostenere anche la prova orale.

## **Geometria (9 CFU)**

**Prof. Giovanni Cerulli Irelli ([giovanni.cerulliirelli@uniroma1.it](mailto:giovanni.cerulliirelli@uniroma1.it))**

### **Obiettivi**

Nozioni basilari di algebra lineare e geometria. Risoluzione di sistemi lineari e interpretazione geometrica per 2 o 3 incognite. Abitudine al ragionamento rigoroso, al calcolo numerico e simbolico, all'analisi dei problemi ottimizzando la strategia risolutiva. Familiarità con i vettori e con le matrici. Familiarità con le entità geometriche del piano e dello spazio, relative ad equazioni di primo o secondo grado. Comprensione delle applicazioni lineari e in particolare della diagonalizzazione. Risultati di apprendimento attesi: Ci si aspetta che l'apprendimento sia costante, in concomitanza con le lezioni, rinforzato da attività di ricevimento e da prove in itinere. Piccole difficoltà possono essere risolte anche via email. L'inizio può eventualmente risultare difficile, soprattutto a causa di lacune degli anni di studio precedenti, ma dopo il primo impatto - in diversi casi, dopo il primo o il secondo esame scritto - ci si aspetta che le informazioni acquisite producano un miglioramento e un'abitudine ai temi.

### **Programma**

Spazi vettoriali:

Gruppi, campi, numeri complessi, teorema fondamentale dell'algebra.%, [divisione tra polinomi - Precorsi].

Definizione di spazio vettoriale su un campo  $K$ ; Esempi (funzioni a valori in uno spazio vettoriale,  $K^n$ , vettori geometrici del piano e dello spazio, polinomi, polinomi di grado minore o uguale ad  $n$ ).

Combinazioni lineari, combinazioni convesse ed affini.

Sottospazi vettoriali, generatori, Span, Lemma di scambio. Inviluppo convesso. Segmento.

Dipendenza ed indipendenza lineare.

Basi e dimensione, coordinate.

Intersezione e somma di sottospazi vettoriali; formula di Grassmann; somma diretta di sottospazi vettoriali.

Applicazioni lineari:

Definizione ed esempi.

Nucleo ed immagine di un'applicazione lineare; teorema della dimensione; rango.

Applicazioni lineari e basi; funzione "coordinate in una base data".

Matrice associata ad un'applicazione lineare in due basi date; spazio delle colonne di una matrice.

Moltiplicazione righe per colonne di matrici.

Cambiamenti di base. Applicazioni lineari simili e teorema di classificazione.  
Algoritmo di eliminazione di Gauss; matrici a scala e a scala ridotta.  
Inverse destre e sinistre; inversa di una matrice quadrata; algoritmo di inversione.  
Matrici elementari.  
Spazio delle righe di una matrice. Equazioni parametriche e cartesiane di sottospazi vettoriali.  
Determinante:  
Esistenza ed unicità del determinante.  
Sviluppi di Laplace.  
Teorema di Binet.  
Determinante  $2 \times 2$  come area orientata.  
Determinante di Vandermonde.  
Matrice aggiunta e formula di Cramer.  
Tecniche di calcolo per l'inversa (algoritmo di inversione, formula di Cramer, teorema di Cayley-Hamilton).

Geometria affine del piano e dello spazio:

Sottospazi affini. Equazioni parametriche e cartesiane di sottospazi affini.  
Sottospazi affini del piano e loro posizione reciproca. Fasci di rette.  
Sottospazi affini dello spazio e loro posizione reciproca. Fasci di rette e piani.

Sistemi di equazioni lineari:

Matrici associate ad un sistema lineare, Teorema di struttura delle soluzioni di un sistema lineare.  
Teorema di Rouché-Capelli.  
Teorema degli orlati.  
Formula di Cramer per la soluzione di un sistema lineare non-singolare.  
Decomposizione LU e suo utilizzo per la risoluzione di opportuni sistemi lineari.  
Sistemi lineari associati a circuiti elettrici e a reti di flusso.

Spazi Euclidei:

Forme bilineari, matrice associata ad una forma bilineare in una base, cambiamento di base e matrici associate a forme bilineari, matrici congruenti.  
Forme bilineari simmetriche: Ortogonale di un sottospazio, teorema di decomposizione ortogonale, basi ortogonali, esistenza di una base ortogonale.  
Forme bilineari reali: teorema di Sylvester, segnatura di una forma bilineare, basi di Sylvester, due matrici simmetriche sono congruenti se e solo se hanno la stessa segnatura.  
Prodotti scalari (reali), esempi: prodotto scalare standard di  $\mathbb{R}^n$ , prodotto scalare  $L^2$ , prodotto di Lagrange nei polinomi.  
Proiezione ortogonale su un sottospazio vettoriale; Algoritmo di Gram-Schmidt.  
Insiemi/basi ortogonali, coefficienti di Fourier.  
Distanza tra sottospazi affini.  
Norma, distanza tra punti.  
Angoli, disuguaglianza di Cauchy-Schwarz, Disuguaglianza triangolare, teorema di Pitagora.  
Decomposizione QR. (Facoltativo)  
Soluzioni approssimate di un sistema non risolubile di equazioni lineari; equazioni normali di un sistema di equazioni lineari;  
tecniche di calcolo delle soluzioni approssimate; polinomio approssimante di dati statistici.

Geometria euclidea del piano e dello spazio:

Versori normali e direttori di una retta del piano e dello spazio; coseni direttori.  
Distanza punto-retta nel piano. Bisettrici di un angolo. Asse di un segmento.  
Circonferenze del piano; equazioni parametriche delle circonferenze; retta tangente ad un punto di una circonferenza.

Isometrie del piano.  
Distanza punto-retta, punto-piano, retta-retta nello spazio.  
Triangoli: bisettrici, altezze, mediane, circocentro, ortocentro, incentro.

Autovalori ed autovettori:

Definizione ed interpretazione geometrica.  
Autospazi; molteplicità geometrica di un autovalore.  
Endomorfismi diagonalizzabili.  
Teorema spettrale reale.  
Teorema di Cayley-Hamilton.  
Il gruppo  $SO(3)$ . (Facoltativo)  
Esponenziale di una matrice. (Facoltativo)  
Forme quadratiche definite positive.  
Classificazione affine e metrica delle coniche.  
Proprietà focali delle coniche non-degeneri. (Facoltativo)

**MATLAB:**

Il corso da 2 ore Matlab-Onramp \ è richiesto all'esame orale.  
Matrici simboliche.  
Calcolo di una base del nucleo e dell'immagine di una matrice.  
Calcolo della forma a scala ridotta di una matrice.  
Risoluzione di sistemi lineari, anche con parametro.  
Grafici in 2d.  
Calcolo del polinomio caratteristico e degli autovalori di una matrice.  
Decomposizione QR. (Facoltativo)

### **Testi adottati**

Libro di testo:

"Algebra Lineare e Geometria". Francesco Bottacin. Esculapio. 2021.

Libro di esercizi:

"Esercizi di Algebra Lineare e Geometria". Francesco Bottacin. Esculapio. 2021.

Appunti delle lezioni:

Reperibili nella pagina web del corso.

### **Bibliografia di riferimento**

M. Abate, C. De Fabritiis: "Geometria analitica con elementi di algebra lineare". McGrawHill. III edizione. F. Flamini, A. Verra: "Matrici e vettori. Corso di base di geometria e algebra lineare". Carocci. 2007. A. Savo: "Geometria. Teoria ed esercizi". Hoepli. 2021. W. Keith Nicholson: "Algebra Lineare: dalle applicazioni alla teoria". McGrawHill. "(FuoriCommercio.)" Stefano Capparelli, Alberto Del Fra: "Geometria". Esculapio. Gilbert Strang: "Algebra lineare". Apogeo education. Maggioli Editore. Enrico Schlesinger: "Algebra Lineare e geometria". Seconda Edizione. Zanichelli. Carfagna Piccoella: "Complementi ed esercizi di Geometria e Algebra Lineare". Seconda edizione. Zanichelli.

### **Prerequisiti**

Trigonometria. Nozioni di geometria analitica del piano. Nozioni di base sui polinomi. Questi argomenti sono richiamati e discussi nel corso e-learning "Pre-corsi di Matematica per Ingegneria": <https://elearning.uniroma1.it/course/view.php?id=11798>

### **Modalità di svolgimento**

Lezioni frontali del docente negli orari stabiliti. Tutoraggio in via telematica. Ricevimento.

### **Modalità di frequenza**

Quattro lezioni frontali di due ore l'una ogni settimana, per tredici settimane. Due ore di tutoraggio a settimana. Due ore di ricevimento a settimana.

### **Modalità di valutazione**

Prova scritta e orale

## **Chimica (9 CFU)**

**Prof. Mauro Pasquali** ([mauro.pasquali@uniroma1.it](mailto:mauro.pasquali@uniroma1.it))

### **Obiettivi**

Lo studente, al termine del modulo di Chimica, sarà in possesso delle conoscenze Chimiche di base: struttura atomica; struttura della materia in fase gassosa, liquida e solida; energia; equilibri chimici in fase gassosa ed in soluzione acquosa; elettrochimica.

Gli studenti che abbiano superato l'esame saranno in grado di comprendere: l'ambiente che li circonda in termini di struttura microscopica e macroscopica della materia; le trasformazioni chimiche e fisiche che continuamente avvengono nell'ambiente; gli equilibri di tipo fisico e chimico propri dei sistemi in fase gassosa e dei sistemi in soluzione acquosa. Saranno inoltre in grado di comprendere i trasferimenti di energia, l'utilizzo dell'energia elettrochimica, il fenomeno della corrosione e quello della protezione dalla corrosione.

### **Programma**

Il programma è stato diviso in tre moduli che hanno ciascuno la durata di un mese.

#### *Primo Modulo:*

#### **LA STRUTTURA DELLA MATERIA**

- Particelle fondamentali in un atomo. - Numero atomico e numero di massa di un atomo. - Nuclidi, isotopi ed elementi chimici. - Massa atomica relativa. - La mole come unità di misura della quantità di sostanza e il Numero di Avogadro.

#### **STRUTTURA ELETTRONICA DEGLI ATOMI E CLASSIFICAZIONE PERIODICA DEGLI ELEMENTI**

- Il modello di Bohr dell'atomo di idrogeno. - Principio di indeterminazione di Heisenberg. - Equazione di De Broglie e cenni sulla trattazione ondulatoria. - L'orbitale atomico. - Costruzione della struttura elettronica di un atomo nel suo stato fondamentale: principio di esclusione di Pauli e della massima molteplicità (o di Hund). Classificazione periodica degli elementi. Energia di ionizzazione, affinità elettronica e carattere metallico di un elemento. - Raggio atomico.

#### **LEGAMI CHIMICI - STRUTTURE E GEOMETRIE MOLECOLARI**

- Concetto di legame e l'energia di legame - Il legame ionico. - Il legame atomico (o covalente). - Legami atomici semplici doppi e tripli. Legami atomici dativi (o di coordinazione). - Elettronegatività degli elementi. - Polarità nei legami atomici. Molecole polari e non polari. - Il legame metallico. L'ibridizzazione degli atomi e le geometrie delle molecole. - I legami deboli.

#### **SOSTANZE E CALCOLI STECHIOMETRICI**

- Composizione elementare di un composto chimico e sua formula minima. - Formule molecolari ed unità di formula. - Masse formali relative. - Massa molare di una sostanza. - Rappresentazione quantitativa di una reazione chimica: equazione stechiometrica (o chimica). - Bilanciamento di una equazione chimica. Reagenti in proporzioni stechiometriche o non stechiometriche. Rendimento di una reazione.

#### **STATI DI OSSIDAZIONE DI ELEMENTI E REAZIONI REDOX**

- Stato di ossidazione di un elemento in un composto. - Correlazione tra stati di ossidazione degli elementi e loro classificazione periodica. - Variazione dello stato di ossidazione di un elemento: ossidazione, riduzione e reazioni redox. Bilanciamento di equazioni chimiche redox. Coppie redox.

#### **STATO DI AGGREGAZIONE DELLA MATERIA**

Stato gassoso. Proprietà macroscopiche dei gas. Gas ideale ed equazione di stato. Teoria cinetica dei gas. Applicazione della legge dei gas in chimica. Miscugli gassosi: frazioni molari, pressioni parziali, massa molecolare (media). - Gas reali ed equazione di Van der Waals. - Liquefazione dei gas e stato critico.

Stato solido. Solidi ionici, solidi molecolari, solidi covalenti solidi metallici.

Stato liquido. Evaporazione e solidificazione dei liquidi. Soluzioni (liquide): solvente e soluto (gassoso, solido e liquido), concentrazione delle soluzioni e concetto di saturazione.

*Secondo Modulo:*

#### TERMODINAMICA CHIMICA

Sistemi termodinamico e ambiente: variabili di stato (intensive ed estensive), funzioni di stato. - L'equilibrio termodinamico, trasformazioni reversibili ed irreversibili. - Lavoro meccanico nelle trasformazioni termodinamiche. - 1° Principio della termodinamica. Il calore nelle trasformazioni a volume costante ed in quelle a pressione costante: la funzione di stato, entalpia. - Effetto termico nelle reazioni chimiche: equazione termochimica. - Stati standard delle sostanze. - Additività delle equazioni termochimiche (legge di Hess). - 2° Principio della termodinamica: la funzione di stato entropia. L'entropia allo zero assoluto (3° Principio della termodinamica). - La funzione di stato energia libera (o funzione di Gibbs). - Criteri di spontaneità e di equilibrio nelle reazioni chimiche e nelle trasformazioni di fase. - Il potenziale chimico. - Variazione dell'energia libera del sistema nel progressivo avanzamento di una reazione fino all'equilibrio. - Legge dell'equilibrio chimico: costante standard (di equilibrio) di una reazione. Dipendenza della costante di equilibrio dalla temperatura: equazione di Van t'Hoff. Il rendimento di una reazione.

#### EQUILIBRI TRA FASI DIVERSE DI SOSTANZE CHIMICAMENTE NON REAGENTI

Sistemi ad un solo componente; - Equilibri tra fasi diverse di una stessa sostanza: equazione di Clausius - Clapeyron. Diagramma di stato dell'acqua.

Sistemi a due componenti completamente miscibili. - L'equilibrio liquido-vapore: legge di Raoult. Diagrammi isotermi "pressione di vapore - composizione della fase liquida e della fase vapore in equilibrio". Diagrammi isobari "temperatura di ebollizione - composizione della fase liquida e della fase vapore in equilibrio". Distillazione.

Sistemi a due componenti completamente immiscibili o parzialmente miscibili. - Concetto di immiscibilità e aspetto chimico del fenomeno. Costante di ripartizione di una sostanza in due liquidi immiscibili. - Miscibilità parziale e lacuna di miscibilità per liquidi e solidi.

#### PROPRIETÀ DELLE SOLUZIONI DI SOLUTI NON ELETTROLITI ED ELETTROLITI

- Proprietà colligative: Abbassamento della pressione di vapore del solvente nel passare da solvente puro a soluzione; abbassamento della temperatura di congelamento e innalzamento della temperatura di ebollizione di una soluzione. - Curve di raffreddamento, diagrammi eutettici e peritettici di soluzioni e leghe. - La conduzione elettrica delle soluzioni elettrolitiche: conduttività, conduttività equivalente e conduttività equivalente limite.

*Terzo Modulo*

#### EQUILIBRI IONICI IN SOLUZIONE ACQUOSA

La legge dell'equilibrio chimico per reazioni in soluzione ( $K_c$ ). La reazione di auto-ionizzazione dell'acqua e sua costante di reazione ( $K_w$ ). Definizione di acido e di base secondo Arrhenius. Reazione acido-base secondo Bronsted e Lewis. Soluzioni neutre, acide e basiche: il pH. Calcolo del pH di soluzioni di acidi, basi, e sali. Calcolo del pH di miscele di acidi, basi e acido forte con base forte: neutralizzazione.

Elettroliti poco solubili: solubilità e prodotto di solubilità ( $K_{so}$ )

#### ELETTROCHIMICA

- Semi reazioni redox e loro bilanciamento con il metodo ionico-elettronico. - Reazioni redox e possibilità di conversione di "energia chimica" in "energia elettrica" e viceversa in dispositivi elettrochimici. - L'equazione di Nernst. - Forza elettromotrice di un elemento galvanico. - Potenziale elettrodo e potenziale elettrodo standard di un semi elemento. - Semi elemento standard di idrogeno. - Tabella dei potenziali standard di riduzione di coppie redox, potere ossidante e riducente delle coppie redox.

#### CINETICA CHIMICA

Cenni sulla velocità di reazione.

### **Testi adottati**

Libro di testo: Fondamenti di Chimica P. Silvestroni XI edizione a cura di M. Pasquali e A. Latini Casa Editrice Ambrosiana CEA

Per la parte di esercitazioni numeriche è consigliato il seguente test:

Problemi di Chimica di M. Pasquali e Alessandro Dell'Era Casa editrice Esculapio

### **Bibliografia di riferimento**

Chimica Generale e Inorganica A cura di P. Tagliatesta Fondamenti di Chimica " P. Chiorboli Principi dell'equilibrio chimico " K. Denbigh Valence " McWeeny- Coulson

### **Prerequisiti**

La chimica richiede una buona formazione scientifica di base (chimico-fisico-matematica). Fondamentali sono i concetti matematici di derivata e di integrale ed altrettanto importanti sono i fenomeni legati all'applicazione di campi di forze alla materia.

### **Modalità di frequenza**

La frequenza non è obbligatoria anche se si raccomanda vivamente la partecipazione alle lezioni sia per la complessità di alcuni argomenti che per la vastità del programma.

### **Modalità di valutazione**

Lo studente è chiamato a risolvere quattro esercizi di stechiometria che coprono tutti gli argomenti del programma.

La prova orale può essere fatta o ponendo delle domande aperte in forma scritta e/o un orale tradizionale. Molto peso sarà dato alle interconnessioni dei diversi argomenti In modo da appurare la capacità dello studente di razionalizzare e di collegare le diverse problematiche.

## ***Primo anno – II semestre***

### **Fisica Generale I (9 CFU)**

**Prof. Angelo Schiavi ([angelo.schiavi@uniroma1.it](mailto:angelo.schiavi@uniroma1.it))**

### **Obiettivi**

Il corso introduce la metodologia scientifica e sviluppa i concetti ed il formalismo della meccanica newtoniana e della termodinamica classica. Il corso è finalizzato a far acquisire allo studente una sufficiente familiarità con i modelli di base della fisica classica e, in particolare, con il concetto di grandezza fisica e con il ruolo che rivestono i Principi della Fisica. Lo studente, al termine della sua preparazione, dovrà essere in grado di applicare i concetti appresi alla risoluzione di semplici problemi di meccanica e di termodinamica.

### **Programma**

INTRODUZIONE: Il metodo scientifico. Grandezze fisiche. Sistemi di unità di misura. Misure e incertezze.

CINEMATICA DEL PUNTO MATERIALE (PM): Il punto materiale. Sistemi di riferimento. Spostamento, velocità e accelerazione. Legge oraria, traiettoria. Moto uniforme, uniformemente accelerato, circolare, armonico, centrale. Moto dei gravi. Moto piano generico.

DINAMICA DEL PM: Forza. Principi della dinamica. Quantità di moto e impulso. Reazioni vincolari, forza peso, elastica, di attrito, resistenze passive. Teorema del momento della quantità di moto. Pendolo semplice. Oscillazioni libere, smorzate e forzate; risonanza. Sistemi di riferimento non inerziali e forze apparenti.

LAVORO ED ENERGIA PER IL PM: Lavoro. Forze conservative ed energia potenziale. Energia cinetica e teorema del lavoro e dell'energia cinetica. Potenza. Conservazione dell'energia meccanica. Equilibrio e stabilità.

GRAVITAZIONE: Legge di gravitazione universale. Massa gravitazionale. Leggi di Keplero.

MECCANICA DEI SISTEMI: Centro di massa. Equazioni cardinali. Teoremi di conservazione. Teorema di Koenig. Processi d'urto: urto normale centrale. Meccanica del corpo rigido. Corpo

rigido girevole attorno a un asse fisso: momento di inerzia, teorema di Huygens-Steiner. Rotolamento. Sistemi equivalenti di forze. Pendolo composto. STATICA DEI FLUIDI: Pressione. Legge di Stevino, principio di Pascal, principio di Archimede. ELASTICITA': Deformazioni, sforzi, legge di Hooke. Relazioni fra i moduli elastici. TERMOLOGIA: Temperatura. Principio zero. Scale termometriche. Espansione termica. Quantità di calore, calori specifici. Calorimetri. Trasmissione del calore. TERMODINAMICA: Sistemi termodinamici. Equilibrio termodinamico. Variabili di stato. Trasformazioni. Lavoro nelle trasformazioni reversibili. Calore ed energia. Equivalenza calore-lavoro. Primo principio della termodinamica. Gas ideali: equazione di stato, energia interna dei gas perfetti, interpretazione cinetica della temperatura. Gas reali: equazione di stato di Van der Waals. Macchine termiche. Ciclo di Carnot. Enunciati del secondo principio. Teorema di Carnot. Disuguaglianza di Clausius. Entropia. Temperatura termodinamica.

### Testi adottati

"Elementi di Fisica - Meccanica e Termodinamica" di P. Mazzoldi - M. Nigro - C. Voci, III edizione (2021), Edizioni EdiSES.

### Modalità di valutazione

Colloquio su gli argomenti esposti a lezione.

Valutazione basata su:

- completezza delle conoscenze acquisite
- chiarezza d'esposizione e proprietà di linguaggio
- capacità di risolvere semplici problemi

### Analisi Matematica II (9 CFU)

Prof. Tommaso Leonori ([tommaso.leonori@uniroma1.it](mailto:tommaso.leonori@uniroma1.it))

### Obiettivi

Il corso è finalizzato all'acquisizione e all'uso di alcuni importanti concetti e strumenti dell'Analisi Matematica in spazi reali a più dimensioni. I concetti e le operazioni di limite, continuità, derivata, differenziale ed integrale vengono estesi in questo ambito a spazi pluridimensionali. Vengono introdotti i concetti di curva, integrali curvilinei, forme differenziali e alcuni metodi di minimizzazione vincolata.

Vengono introdotte le nozioni fondamentali relative alle successioni e alle serie di funzioni. Il corso richiede, oltre all'acquisizione degli strumenti teorici, anche la capacità di operare su problemi concreti che comportino l'uso di tali strumenti.

Lo studente deve acquisire la capacità di effettuare le operazioni di limite, derivata, differenziale ed integrale in spazi reali pluridimensionali. Queste operazioni devono essere effettuate in modo critico e costruttivo. Nello stesso tempo viene richiesta una approfondita conoscenza degli strumenti teorici utilizzati. Il corso si propone in particolare di favorire l'approccio allo studio di problemi matematici nuovi e di stimolare il raggiungimento di una maturità nell'uso concreto dell'Analisi Matematica nell'ambito dell'Ingegneria.

### Programma

- Calcolo differenziale per funzioni di più variabili

Richiami di calcolo vettoriale. Punti interni, punti esterni e punti di frontiera. Insiemi aperti, chiusi, compatti, limitati, connessi. Funzioni reali di due o più variabili reali. Linee di livello. Domini. Limiti e continuità. Insiemi aperti e chiusi definiti da funzioni continue. Teorema degli zeri. Derivabilità, derivabilità direzionale e differenziabilità. Teorema del differenziale Totale (condizione sufficiente per la differenziabilità). Teorema di Schwarz. Piano e iperpiano tangente. Derivata direzionale di una funzione differenziabile. Richiami su forme quadratiche, matrici quadrate definite, semi-definite e indefinite e loro caratterizzazione. Test degli autovalori. Estremi relativi liberi e punti di sella. Studio della natura dei punti critici con la matrice hessiana.



Teorema di Weierstrass. Estremi vincolati. Metodo dei moltiplicatori di Lagrange. Formula di Taylor con resto di Lagrange e con resto di Peano. Teorema della funzione implicita.

- Successioni e serie di funzioni

Successioni di funzioni reali di una variabile reale. Convergenza puntuale e uniforme. Proprietà del limite uniforme. Passaggio del limite sotto il segno di integrale. Derivabilità termine a termine. Serie di funzioni reali di una variabile reale. Convergenza puntuale, uniforme e totale. Passaggio della serie sotto il segno di integrale. Derivabilità termine a termine. Serie di potenze e rispettive proprietà. Raggio di convergenza. Insieme di convergenza puntuale. Teorema di Abel. Serie trigonometriche e serie di Fourier. Teoremi sulla convergenza semplice e uniforme della serie di Fourier per funzioni di classe  $C^1$  - a tratti e periodiche. Disuguaglianza di Bessel e identità di Parseval.

- Curve e forme differenziali

Curve piane e spaziali. Curve parametriche semplici, regolari, chiuse. Vettore tangente. Riparametrizzazioni. Ascissa curvilinea. Lunghezza di un arco di curva. Baricentro di una curva. Integrali curvilinei di funzioni continue. Curve orientate. Forme differenziali lineari piane. Forme chiuse e esatte. Primitiva di una forma differenziale. Domini connessi e semplicemente connessi. L'esattezza di una forma implica che la forma sia chiusa. Condizioni necessarie e sufficienti per l'esattezza di una forma differenziale. Integrali curvilinei di forme differenziali lineari.

- Integrazione

Definizione di integrale doppio e proprietà di linearità e additività. Domini  $x$ -normali e  $y$ -normali. Formule di riduzione. Teorema del cambiamento di variabile. Coordinate polari ed ellittiche. Formule di Gauss-Green. Baricentro di una lamina piana. Teorema della divergenza. Formula di Stokes. Formule di integrazione per parti. Formule per il calcolo dell'area. Cenni sugli integrali tripli. di integrale triplo e sue proprietà. Integrazione per fili e per strati. Baricentro di figure solide. Teorema del cambiamento di variabili. Coordinate cilindriche e sferiche. Superfici di rotazione e teorema di Guldino.

### Testi adottati

- M. Bertsch, R. Dal Passo, L. Giacomelli, *Analisi Matematica*, Ed. McGraw-Hill
- N. Fusco, P. Marcellini, C. Sbordone, *Lezioni di Analisi Matematica due*, Zanichelli
- M. Bramanti, C. D. Pagani, S. Salsa, *Analisi Matematica 2*. Ed. Zanichelli
- M. Bramanti, *Esercitazioni di Analisi Matematica 2*. Ed. Esculapio
- G. Catino, F. Punzo, *Esercizi svolti di Analisi Matematica e Geometria 2*, Amazon Books
- N. Fusco, P. Marcellini, C. Sbordone, *Elementi di Analisi Matematica due*, Liguori Editore
- P. Marcellini, C. Sbordone, *Esercitazioni di Analisi Matematica Due*, Ed. Zanichelli
- M. Amar, A. Bersani, *Analisi Matematica 2 - Esercizi e Richiami di Teoria*, Ed. La Dotta

### Bibliografia di riferimento

- M. Bertsch, R. Dal Passo, L. Giacomelli, *Analisi Matematica*, Ed. McGraw-Hill
- N. Fusco, P. Marcellini, C. Sbordone, *Lezioni di Analisi Matematica due*, Zanichelli
- M. Bramanti, C. D. Pagani, S. Salsa, *Analisi Matematica 2*. Ed. Zanichelli
- M. Bramanti, *Esercitazioni di Analisi Matematica 2*. Ed. Esculapio
- G. Catino, F. Punzo, *Esercizi svolti di Analisi Matematica e Geometria 2*, Amazon Books
- N. Fusco, P. Marcellini, C. Sbordone, *Elementi di Analisi Matematica due*, Liguori Editore
- P. Marcellini, C. Sbordone, *Esercitazioni di Analisi Matematica Due*, Ed. Zanichelli
- M. Amar, A. Bersani, *Analisi Matematica 2 - Esercizi e Richiami di Teoria*, Ed. La Dotta

### Prerequisiti

Il corso di Analisi 1

### Modalità di svolgimento

Lezioni frontali ed esercitazioni in aula.

**Modalità di valutazione**

Esame scritto e orale

**Chimica Industriale Organica (9 CFU)**

**Prof.ssa Paola Russo** ([paola.russo@uniroma1.it](mailto:paola.russo@uniroma1.it))

**Obiettivi**

Il corso mira a fornire allo studente le conoscenze di base sulle caratteristiche e la reattività delle principali classi di composti organici, con particolare riferimento a quelle di interesse nei processi di produzione industriale.

**Programma**

Legame covalente e forma delle molecole. Gruppi funzionali. Acidi e basi. Isomeria conformazionale e configurazionale; isomeria di struttura. Idrocarburi alifatici: Alcani e cicloalcani; alcheni; alchini; dieni. Stereoisomeria. Alogenuri alchilici. Alcoli, dioli e tioli. Eteri e epossidi. Idrocarburi aromatici: benzene e areni. Aldeidi e chetoni. Acidi carbossilici. Derivati funzionali degli acidi carbossilici: ammidi, esteri, anidridi, alogenuri acilici. Carboidrati. Lipidi. Saponi. Per ciascuna classe di composti vengono prese in esame: le proprietà chimico fisiche, la nomenclatura, i metodi di preparazione e la reattività. Dal punto di vista meccanicistico sono approfonditi sia i processi omolitici (reazioni radicaliche) che quelli eterolitici (reazione di sostituzione, addizione o eliminazione).

Le materie prime dell'industria chimica organica. Produzione di olefine leggere da steam cracking. Produzione di etilbenzene, stirene e cumene. Trasformazione dei prodotti petrolchimici primari. Produzione industriale, proprietà e derivati industrialmente rilevanti di: ossido di etilene, cloruro di vinile. Polimeri organici: sintesi industriale di polimeri mediante policondensazione, polimerizzazione radicalica, cationica, anionica.

Il corso è corredato da 3/4 esperienze di laboratorio.

**Testi adottati**

Introduzione alla Chimica Organica, W. Brown e T. Poon, 4° Ed., 2011, EDISES

**Bibliografia di riferimento**

Fondamenti di Chimica Industriale, F. Cavani, G. Centi, M. Di serio, I. Rossetti, A Salvini, G. Strukul, 2022, Zanichelli

**Prerequisiti**

Sono richieste le conoscenze di struttura della materia, struttura elettronica degli atomi e classificazione periodica degli elementi, legami, strutture e geometrie molecolari, termodinamica e cinematica chimica.

**Modalità di svolgimento**

Il corso prevede lezioni frontali e esercitazioni ed include 3/4 esperienze di laboratorio.

**Modalità di frequenza**

La frequenza è obbligatoria

**Modalità di valutazione**

Una prova scritta e una prova orale fissate in giorni differenti al termine del corso.

## **Secondo anno – I semestre**

### **Fisica Generale II (9 CFU)**

**Prof. Marco Centini** ([marco.centini@uniroma1.it](mailto:marco.centini@uniroma1.it))

#### **Obiettivi**

Fornire i principi fondamentali dell'elettromagnetismo classico e dei fenomeni ondulatori sia nel vuoto che in presenza di mezzi materiali, accentuando l'aspetto sperimentale della materia. Insegnare a risolvere ragionando semplici problemi sugli argomenti di cui sopra. Lo studente deve aver compreso i fenomeni relativi all'elettromagnetismo classico e alla propagazione per onde. Deve aver capito quali leggi sono state ottenute sperimentalmente e quali come deduzione matematica. Infine deve saper utilizzare gli argomenti trattati per risolvere semplici problemi.

#### **Programma**

Elettrostatica: Aspetti sperimentali; carica elettrica; legge di Coulomb e campo elettrico; principio di sovrapposizione; potenziale elettrostatico; dipolo elettrico; flusso di un campo vettoriale; legge di Gauss; equazioni dell'elettrostatica.

Elettrostatica e conduttori: Capacità; energia di un condensatore carico; condensatori in serie e in parallelo.

Corrente elettrica nei conduttori: Forza elettromotrice; vettore densità di corrente e intensità di corrente elettrica; principio di conservazione della carica elettrica; legge di Ohm; effetto Joule; Resistenze in serie e in parallelo. Le leggi di Kirchhoff.

Magnetostatica: sorgenti del campo magnetico e aspetti sperimentali; la legge di Biot-Savart; I e II legge di Laplace; definizione dell'Ampere; momento di dipolo magnetico di una spira; circuitazione di un campo vettoriale e il Teorema di Ampere; Legge di Gauss per il campo magnetico; le equazioni della magnetostatica in forma integrale e in forma differenziale.

Induzione elettromagnetica: Forza di Lorentz; legge di induzione di Faraday e Legge di Lenz; correnti di Foucault; rotore del campo elettrico; il fenomeno dell'autoinduzione; induttanza; energia immagazzinata da un'induttanza; circuito RL; mutua induttanza.

#### **Campi elettrici nella materia**

Aspetti sperimentali; la polarizzazione molecolare; dielettrici polari e non polari; vettore polarizzazione dielettrica; densità di carica superficiale e volumetrica di polarizzazione su un dielettrico; corrente di polarizzazione; vettore induzione elettrica; divergenza del campo induzione elettrica; suscettività elettrica e costante dielettrica di un dielettrico isotropo; potenziale elettrostatico nei dielettrici; condizioni di continuità del campo elettrico e del campo induzione elettrica sull'interfaccia fra due dielettrici isotropi; energia del campo elettrostatico; forza su un dielettrico in un condensatore carico; rigidità dielettrica.

#### **Campi magnetici nella materia**

Momento di dipolo magnetico orbitale e di spin nell'atomo dovuto agli elettroni; effetti di un campo magnetico su sostanze diverse - diamagnetismo e paramagnetismo; intensità di magnetizzazione; densità di corrente superficiale e volumetrica di magnetizzazione; la legge di Ampère nella materia; vettore intensità di campo magnetico; suscettività magnetica e permeabilità magnetica; condizioni del campo magnetico e del campo induzione magnetica all'interfaccia tra sostanze magnetiche isotrope ed omogenee; ferromagnetismo; isteresi magnetica; circuiti magnetici; la legge di Hopkinson; energia del campo magnetico; forza agente su sostanze magnetiche in presenza di campi magnetici.

#### **Correnti alternate**

Oscillazioni smorzate in un circuito RLC, Oscillazioni permanenti in un circuito RLC, Circuiti in corrente alternata. Impedenza, Metodo simbolico per i circuiti in corrente alternata, Potenza in regime alternato, Generatori e motori.

Equazioni di Maxwell e onde elettromagnetiche:

Corrente di spostamento; equazioni di Maxwell nel vuoto in forma integrale e differenziale; equazioni di Maxwell nella materia; equazione delle onde nell'elettromagnetismo; velocità della luce; onde piane nel vuoto, polarizzazione di onde elettromagnetiche. Spettro di onde elettromagnetiche. Vettore di Poynting. Riflessione e rifrazione di onde elettromagnetiche. Legge di Snell. Dispersione della luce. Interferenza. Diffrazione. Interferenza.

### **Testi adottati**

“Fisica – Volume II” di P.Mazzoldi, M.Nigro, C.Voci, EdiSes, seconda edizione.

Per alcuni argomenti si consiglia la consultazione di “Fisica II” di C. Mencuccini, V. Silvestrini, Casa editrice ambrosiana

Note distribuite dal docente scaricabili dal sito <https://elearning.uniroma1.it/>

### **Modalità di valutazione**

Prova scritta e orale

### **Materiali (12 CFU)**

**Modulo I (8 CFU): Prof.ssa Cecilia Bartuli ([cecilia.bartuli@uniroma1.it](mailto:cecilia.bartuli@uniroma1.it))**

**Modulo II (4 CFU): Prof. Stefano Natali ([stefano.natali@uniroma1.it](mailto:stefano.natali@uniroma1.it))**

### **Obiettivi**

**OBIETTIVI GENERALI:** Competenze fondamentali nella scienza e ingegneria dei materiali applicate all'ingegneria industriale.

Il corso intende fornire i fondamenti tanto della Scienza che della Tecnologia dei Materiali, ed è formulato tenendo conto delle esigenze di studenti con diversi percorsi formativi nell'ambito dell'ingegneria industriale.

Gli studenti che concluderanno il loro percorso di studi con la laurea triennale, al pari di coloro che non includeranno comunque nel loro futuro curriculum ulteriori conoscenze nell'ambito dei Materiali, avranno modo di trarre dal corso insegnamenti già direttamente applicabili nel campo dell'Ingegneria Industriale (con particolare riferimento all'Industria Chimica, ma anche all'Industria Metallurgica, Meccanica, Elettrotecnica) e dell'Ingegneria Civile. Forti delle conoscenze maturate sulle proprietà delle diverse classi di materiali, saranno in grado di selezionare con consapevolezza i materiali idonei alle diverse applicazioni, sapranno riconoscere le condizioni di possibile rischio in esercizio, sapranno scegliere i test più indicati per valutare le prestazioni dei materiali in opera e potranno inserirsi con professionalità nella gestione delle fasi tecnologiche di produzione.

Agli studenti che intendono proseguire verso una laurea magistrale a più forte specializzazione sarà fornita la conoscenza di base necessaria per affrontare con la giusta preparazione gli ulteriori approfondimenti, avvalendosi di una completa articolazione delle conoscenze sulle relazioni fra la microstruttura dei materiali e le loro proprietà. Ciò li metterà in condizione di progettare con/per i materiali, facendosi parte attiva del percorso di evoluzione dai materiali «tradizionali» ai materiali «avanzati».

**OBIETTIVI SPECIFICI:** Con riferimento ai descrittori di Dublino:

1. conoscenza e comprensione (descrittore di Dublino A) delle correlazioni esistenti fra produzione/lavorazioni – microstruttura - proprietà dei materiali. Tali conoscenze sono

trasmesse mediante lezioni frontali generali sulle caratteristiche microstrutturali e le proprietà delle diverse classi di materiali (metallici, ceramici, polimeri, compositi).

2. capacità di applicare la conoscenza e la comprensione acquisite (descrittore B) alla selezione delle classi di materiali più idonee per specifiche applicazioni nel campo dell'ingegneria industriale, con particolare ma non esclusivo riferimento al loro comportamento meccanico (resistenza, resilienza, tenacità, lavorabilità, durezza, vita a fatica). Tale capacità è acquisita attraverso l'illustrazione, durante le lezioni frontali, (anche mediante materiale didattico in video) dell'esecuzione di test e lavorazioni su materiali/componenti reali.

3. lo studente è chiamato a individuare autonomamente (descrittore C) i procedimenti (lavorazioni, trattamenti termici, alligazioni, combinazioni di materiali) più appropriati per l'ottimizzazione di specifiche proprietà, mettendo così a frutto le conoscenze acquisite per saggiare la propria capacità di determinare giudizi in forma autonoma, in condizioni non complesse.

4. idonee abilità comunicative (descrittore D): per molti studenti, vista la costruzione del comune percorso formativo, l'esame finale del corso di Materiali è il primo esame sostenuto interamente in forma di colloquio orale con uno dei due docenti. L'attenzione dei docenti è particolarmente indirizzata, durante le lezioni frontali, alla messa a punto e alla cura di un vocabolario tecnico appropriato e sufficientemente ampio e alla stimolazione di una buona capacità espressiva.

### **Programma**

Il corso è articolato in due moduli: un modulo più generale di 8 CFU sulla scienza e tecnologia dei materiali (SSD ING-IND/22) e un modulo di 4 CFU più specificamente dedicato all'approfondimento dei temi della metallurgia (SSD ING-IND/21).

I due moduli sono totalmente integrati tra loro, e il programma, con numerose interazioni e richiami reciproci, è svolto in parallelo con lezioni distribuite uniformemente nel periodo didattico.

Il programma è sviluppato nei temi seguenti:

- Introduzione alla Scienza e Tecnologia dei Materiali
- Struttura e legami degli atomi
- Struttura e geometria cristallina
- Solidificazione e imperfezioni cristalline
- Diffusione nei solidi
- Proprietà meccaniche e relative prove di caratterizzazione
- Diagrammi di stato
- Materiali metallici
- Materiali polimerici
- Materiali ceramici
- Materiali Compositi
- Cenni di Corrosione e protezione dei materiali

### **Testi adottati**

W.F. Smith, J. Hashemi: "Scienza e Tecnologia dei Materiali", Mc Graw Hill

### **Prerequisiti**

- L'esame di Chimica è propedeutico all'esame di Materiali. - Conoscenze di Chimica Organica sono assai utili per la piena comprensione della natura e le proprietà dei materiali polimerici. - Conoscenze di Fisica e Scienza delle Costruzioni possono essere utili per la consapevole selezione di materiali dotati delle idonee proprietà meccaniche per componenti diversamente sollecitati, e per la comprensione dei test utilizzati per la caratterizzazione delle suddette proprietà. - L'attitudine a scegliere, integrare autonomamente, chiedere e a volte precedere è attributo fondamentale per un futuro ingegnere.

### **Modalità di svolgimento**

Le attività didattiche sono organizzate in: - lezioni frontali (per l'acquisizione delle conoscenze) - svolgimento di esercitazioni comuni per la soluzione di problemi ingegneristici di limitata complessità

### **Modalità di frequenza**

La frequenza, facoltativa, avviene secondo le aule e gli orari stabiliti dalla Presidenza. La frequenza, pur caldamente incoraggiata, non contribuisce alla valutazione finale

### **Modalità di valutazione**

La valutazione è basata sugli esiti di un colloquio orale, teso alla verifica dell'acquisizione:

- delle conoscenze su microstruttura, proprietà, progettazione, processi di produzione e trasformazione, impiego, analisi, caratterizzazione e degrado dei materiali di interesse ingegneristico industriale
- della capacità di applicare tali conoscenze per selezionare i materiali idonei alle diverse applicazioni, per riconoscere le condizioni di possibile rischio in esercizio, per scegliere i test più indicati per valutare le prestazioni dei materiali.

Il colloquio è unico per i due moduli.

La prima domanda, posta a tutti gli studenti, riguarda il «Diagramma di stato Fe-C». Il voto minimo per il superamento dell'esame (18/30) è conseguito solo se lo studente dimostra di conoscere con un sufficiente grado di completezza le condizioni di equilibrio delle leghe a base ferro al crescere del contenuto di carbonio e le relative microstrutture, e di saper discutere le fondamentali correlazioni tra tali microstrutture e le principali proprietà meccaniche e tecnologiche di acciai e ghise.

Per il voto finale saranno considerati:

- il grado di approfondimento delle conoscenze
- la capacità di collegare con sicurezza argomenti diversi
- la capacità di applicare le conoscenze alla soluzione di problemi di limitata complessità nel campo dell'ingegneria dei materiali
- la capacità di comunicare le conoscenze acquisite e di illustrare le soluzioni tecniche proposte con chiarezza e utilizzando un vocabolario tecnico appropriato.

Per il conseguimento del massimo dei voti (30/30 e lode) lo studente dovrà dimostrare di aver acquisito una conoscenza eccellente di tutti gli argomenti trattati nel corso, e di saper applicare tale conoscenza alla soluzione di problemi nel campo dell'ingegneria industriale, proponendo soluzioni originali e dimostrando di aver approfondito individualmente e con contributi personali lo studio della materia.

Durante lo svolgimento del corso agli studenti è offerta l'opportunità di mettere alla prova la propria preparazione mediante lo svolgimento di test di autovalutazione in forma scritta (domande chiuse, risoluzione di problemi numerici, domande aperte), a cui seguono correzioni comuni e, per coloro che ne fanno richiesta, una valutazione dell'elaborato da parte del docente.

## **Scienza delle costruzioni (6 CFU)**

**Prof. Jacopo Ciambella ([jacopo.ciambella@uniroma1.it](mailto:jacopo.ciambella@uniroma1.it))**

### **Obiettivi**

Il corso si propone di fornire agli allievi la conoscenza dei principi e metodi della meccanica dei solidi, delle strutture e della teoria della elasticità, con le principali applicazioni ai sistemi di travi piane. Capacità di affrontare il calcolo delle strutture semplici servendosi dei mezzi analitici e numerici. Capacità di "leggere" gli schemi strutturali e intuire il flusso degli sforzi al loro interno.

Capacità di interpretare il comportamento meccanico delle strutture elastiche e di verificarne la sicurezza e i pericoli di instabilità.

### **Programma**

1. Geometria delle Aree (momenti di inerzia, formule di trasporto e rotazione, momenti principali di inerzia, ellisse centrale di inerzia, cerchio di Mohr)
2. Cinematica dei corpi rigidi (spostamenti rigidi, caratterizzazione cinematica dei vincoli, il problema cinematico)
3. Statica dei corpi rigidi (caratterizzazione statica dei vincoli, il problema statico, dualità statico-cinematica, strutture reticolari)
4. Cinematica della trave (spostamenti e rotazioni, misure di deformazione, equazioni implicite di congruenza, il problema cinematico)
5. Statica della trave (equazioni indefinite di equilibrio, problema statico, leggi e diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione)
6. Materiale costitutivo (legame elastico lineare per la trave monodimensionale, distorsioni termiche, variazioni termiche lineari, equazioni costitutive per la trave monodimensionale)
7. Il problema elastico per la trave
8. Metodo degli spostamenti (le equazioni della linea elastica)
9. Teorema dei lavori virtuali (sistema congruente, sistema equilibrato, dimostrazione TLV, calcolo di spostamenti e rotazioni in strutture isostatiche)
10. Metodo delle forze (sistemi iperstatici, equazioni di Muller-Breslau)
11. Il continuo tridimensionale (definizione di deformazione, definizione di tensione, direzioni principali di tensione e deformazione, il teorema di Cauchy, equazioni indefinite di equilibrio, circonferenza di Mohr)
12. Il legame elastico lineare
13. Il Problema di Saint Venant (posizione del problema, metodo semi-inverso, equivalenza statica)
14. Forza normale centrata, flessione retta
15. Flessione deviata, tensoflessione, pressoflessione
16. Torsione uniforme
17. Flessione e Taglio
18. Criteri di Resistenza

### **Testi adottati**

Krenk, S., & Høgsberg, J. (2013). *Statics and Mechanics of Structures*. Dordrecht: Springer Netherlands.

P. Casini, M. Vasta. *Scienza delle Costruzioni*. Città Studi Edizioni.

### **Modalità di valutazione**

Prova scritta e orale

## **Secondo anno – II semestre**

### **Macchine (9 CFU)**

**Prof. Roberto Capata** ([roberto.capata@uniroma1.it](mailto:roberto.capata@uniroma1.it))

### **Obiettivi**

Il corso si propone di fornire agli studenti i principi di base ed una base metodologica per l'impostazione degli studi del comportamento delle macchine e degli impianti di generazione. Questo obiettivo si raggiunge attraverso la conoscenza di elementi di base della termofluidodinamica con particolare riguardo alle trasformazioni dei fluidi tecnici operanti nelle macchine e nei processi industriali; dei principi di funzionamento, campi di applicazione e criteri di scelta delle macchine motrici ed operatrici e della conoscenza delle diverse tipologie strutturali delle macchine.

## Programma

### 1) Richiami di Termodinamica delle Macchine

Stato e trasformazione dei fluidi, l'equazione di stato, principi di conservazione. 1° principio della termodinamica, bilancio energetico nei processi termodinamici, l'irreversibilità, l'entropia, 2° principio della termodinamica, trasformazione tecniche dei fluidi, cicli e processi termodinamici. Efflusso nei condotti. Relazioni di Hugoniot. Equazione di Eulero

### 2) Gli impianti motori

a. Impianti a vapore: ciclo Rankine/Hirn, lavoro specifico e rendimento. I surriscaldamenti ripetuti e rigenerazione. Ottimizzazione

b. Impianti a gas: ciclo termodinamico, lavoro specifico del ciclo ideale e reale. Rendimento. Regolazione. Ottimizzazione

### 3) Macchine volumetriche

a. Pompe volumetriche: configurazioni, curve caratteristiche e prestazioni, pompe a stantuffi assiali, pompe rotative, pompe speciali e pompe per il vuoto. Campi di impiego.

b. Compressori volumetrici: descrizione del processo ideale e reale, perdite, pressione limite, interrefrigerazione, compressori rotativi, regolazione e campi di impiego

c. Motrici volumetriche: configurazioni, prestazioni. Espansori volumetrici e motrici idrauliche. Motrici a vapore.

### 4) Macchine dinamiche

a. Turbopompe: descrizione e tipologie, rendimento e potenza assorbita, cavitazione, criteri di scelta, regolazione, avviamento; pompe per liquidi molto viscosi e per il vuoto.

b. Ventilatori: campi operativi, perdite e rendimenti. Potenza assorbita, ventilatori radiali, assiali, a tamburo. Regolazione e accoppiamento dei ventilatori.

c. Turbine idrauliche: campi operativi, perdite e rendimenti. Pelton, Francis & Kaplan.

d. Compressori: descrizione e tipologie, rendimento e potenza assorbita, cavitazione, criteri di scelta, regolazione, avviamento.

e. Turbine a gas e vapore: campi operativi, perdite e rendimenti. configurazioni, prestazioni

## Testi adottati

“Macchine a Fluido Volume I” R. Capata, Edizioni Esculapio 2020

## Prerequisiti

termodinamica applicata

## Modalità di valutazione

esercizi pratici scritti e test orale sui vari argomenti del corso

## Tecnologie di Chimica Applicata (9 CFU)

*Prof.ssa Elisabetta Petrucci* ([elisabetta.petrucci@uniroma1.it](mailto:elisabetta.petrucci@uniroma1.it))

## Obiettivi

Acquisizione delle conoscenze di base sulle caratteristiche chimico-fisiche e sui processi di trattamento delle acque primarie, nonché sui materiali da costruzione. Capacità di interpretazione delle analisi chimiche delle acque e di progettazione delle unità di trattamento. Conoscenze sui materiali cementizi.

## Programma

Il corso è articolato nei seguenti moduli:

- caratterizzazione delle acque naturali [30 ore];
- trattamenti delle acque [40 ore];
- materiali cementizi [20 ore]

Nel dettaglio, il programma include:



Acque naturali. Classificazione. Caratteristiche chimico-fisiche: solidi totali, solidi disciolti, solidi sospesi, forza ionica, concentrazione ed attività, coefficienti di attività, pH. Gli equilibri del sistema acido carbonico. Acidità, alcalinità, carbonio inorganico totale, durezza, stabilità (acque aggressive, incrostanti, indice di Langelier e indice di Ryznar), gas disciolti. Utilizzazioni delle acque naturali per scopi civili (acque potabili), irrigui ed industriali (impianti di raffreddamento e riscaldamento, generatori di vapore, processi chimici). Requisiti di qualità.

Processi di trattamento delle acque primarie: neutralizzazione, condizionamento chimico/stabilizzazione, addolcimento, demineralizzazione, degasazione, disinfezione. Schemi di impianti di trattamento per le diverse tipologie di acque. Elementi di progettazione delle unità di trattamento.

Leganti idraulici: cemento Portland, produzione, presa e indurimento, caratteristiche meccaniche. Normativa europea sui cementi. Calcestruzzo: caratteristiche dei componenti, proprietà e criticità del calcestruzzo fresco ed indurito.

### **Testi adottati**

- Dispense del Corso (approfondimenti su W.D. Callister – Scienza ed Ingegneria dei Materiali e Benefield, Judkins, Weand - Process Chemistry for water and wastewater treatment)
- Presentazioni delle lezioni in Powerpoint
- Eserciziari forniti dal Docente

Il materiale, in formato digitale, sarà messo a disposizione ad inizio corso, ad eccezione dei powerpoint che saranno condivisi di volta in volta, utilizzando una virtual classroom di google drive (il cui codice di accesso sarà inviato via mail ai frequentanti).

### **Prerequisiti**

Al fine di partecipare proficuamente al corso e conseguire gli obiettivi di apprendimento è richiesta una buona conoscenza della chimica generale ed inorganica.

### **Modalità di svolgimento**

Le attività didattiche comprendono lezioni frontali tradizionali e lezioni invertite per l'acquisizione delle conoscenze oltre a numerose esercitazioni da svolgersi anche in gruppi per l'applicazione delle conoscenze a casi reali. La fruizione a distanza, tramite collegamento meet o zoom, sarà garantita in caso di insufficiente capienza COVID dell'aula o di motivi sanitari persistenti.

### **Modalità di frequenza**

La frequenza, per quanto non obbligatoria, è caldamente raccomandata.

### **Modalità di valutazione**

La valutazione è basata sugli esiti:

1) di un compito scritto, teso alla verifica dell'acquisizione delle conoscenze e sulla capacità di applicare tali conoscenze nell'esecuzione di calcoli numerici per caratterizzare le acque naturali, per scegliere e dimensionare i trattamenti idonei alle diverse applicazioni, per progettare le miscele di calcestruzzo e misurarne i parametri caratteristici.

2) di un colloquio orale volto a verificare l'acquisizione del senso critico nella comprensione dei fenomeni, nella scelta delle soluzioni e nella loro applicazione

Il voto finale è espresso in trentesimi di cui

Fino a 2 punti (peso sul voto totale circa 6.7 %) – Assiduità, interesse, coinvolgimento e puntualità nella consegna dei compiti assegnati

Fino a 22 punti (Peso sul voto totale circa 73.3%) – Compito scritto comprendente 3 esercizi: il primo sulla caratterizzazione delle acque naturali (punteggio massimo di 7 punti), il secondo su un trattamento (punteggio massimo 10 punti), il terzo sul calcestruzzo (punteggio massimo 5 punti).

Fino a 6 punti (Peso sul voto totale circa 20%) – Breve colloquio orale consistente in massimo tre domande sugli argomenti del corso.

Sono previste 3 prove intermedie durante il corso (indicativamente la prima ad inizio aprile, la seconda ad inizio maggio e l'ultima a fine corso) con le quali, se superate, si ha accesso direttamente al colloquio orale .

### **Termodinamica per l'ingegneria chimica (9 CFU)**

(6 CFU): Prof. Stefano Cerbelli ([stefano.cerbelli@uniroma1.it](mailto:stefano.cerbelli@uniroma1.it))

(3 CFU): Prof.ssa Maria Anna Murmura ([mariaanna.murmura@uniroma1.it](mailto:mariaanna.murmura@uniroma1.it))

#### **Obiettivi**

Il corso si fonda sulle conoscenze di base acquisite nei corsi di Chimica e Fisica I e si propone di fornire agli studenti gli strumenti concettuali necessari per affrontare la modellizzazione degli equilibri di fase e degli equilibri chimici. Lo studente deve saper analizzare sistemi semplici ( a pressioni moderate) sulla base delle condizioni di equilibrio fisico e chimico ottenute a partire dalla seconda legge della termodinamica. In particolare deve saper sviluppare un'analisi degli ordini di grandezza per individuare i termini significativi nelle equazioni di equilibrio.

#### **Programma**

Bilanci macroscopici di Materia per sistemi non reagenti

Equazione di bilancio globale, Equazioni di bilancio parziale, Sistemi stazionari: calcolo del numero di gradi di libertà. Bilanci di materia per semplici sistemi non stazionari

Bilanci macroscopici di energia

Definizione della energia interna e della entalpia. I principio della termodinamica applicato a sistemi chiusi. Definizione del calore specifico a pressione costante, a volume costante e del calore standard di formazione. Definizione del calore di reazione. Stato di riferimento per il calcolo di variazioni di energia interna e di entalpia: caso di sistemi reagenti e non. Applicazione del I Principio allo studio dei sistemi aperti. Espansione in valvola e potenza di compressione

Il Principio della Termodinamica

Definizione della funzione di stato entropia. Definizione dei potenziali termodinamici. Calcolo della variazione di entropia per alcune semplici trasformazioni. Equazione di bilancio macroscopico di entropia. Condizione generale di equilibrio. Condizione di equilibrio a temperatura e pressione costante Definizione della fugacità e del coefficiente di fugacità per un componente puro: effetto Poynting.

Equazioni di stato per i fluidi

Teorema degli stati corrispondenti a due e a tre parametri. Equazioni di stato cubiche: equazione di Van der Waals e di Redlich Kwong. Metodi per il calcolo dei parametri. Calcolo della tensione di vapore con una equazione di stato cubica. Equazioni di stato viriali. Equazioni empiriche per il calcolo delle tensioni di vapore. Calcolo di proprietà termodinamiche con le diverse equazioni di stato. Applicazione delle varie equazioni di stato alle miscele: definizione delle regole di mescolamento

Termodinamica dei Sistemi multicomponente

Definizione di fugacità e coefficiente di fugacità per una miscela e di un componente in miscela.

Ipotesi di Lewis e Randall. Calcolo dei coefficienti di fugacità mediante le varie equazioni di stato

Definizione della attività e dei coefficienti di attività. Riferimento di Raoult .Definizione della costante di Henry e del riferimento di Henry. Dipendenza dei coefficienti di attività da pressione e temperatura. Modelli empirici per esprimere la dipendenza dei coefficienti di attività dalla composizione. Modelli di Margules e Van Laar: determinazione delle costanti di attività. Cenni al calcolo dei coefficienti di attività per sistemi ternari

Condizioni di equilibrio per sistemi reagenti e non reagenti

Condizioni di equilibrio per sistemi in equilibrio fisico e/o chimico. Regola delle fasi

Equilibrio liquido-liquido

Condizione di smiscelamento per sistemi binari. Definizione delle condizioni di solubilità critica.

Calcolo della composizione delle fasi in equilibrio. Caso particolare dei sistemi simmetrici.

Dipendenza della lacuna di miscibilità da temperatura e pressione. Equilibrio liquido liquido ternario

Equilibrio liquido-vapore

Condizione generale di equilibrio liquido vapore per sistemi a due o a più componenti. Calcolo della pressione (o della temperatura) di inizio ebollizione e della pressione (o della temperatura) di inizio condensazione per sistemi completamente ideali in fase vapore e in fase liquida. Caso dei sistemi non ideali in fase liquida. Condizione di azeotropia: presenza di massimi o minimi nella curva ebollizione e condensazione. Equilibrio liquido-liquido-vapore e definizione delle condizioni di eteroazeotropia. Sistemi con completa immiscibilità in fase liquida. Calcolo della temperatura e della composizione azeotropica. Calcolo della temperatura di inizio condensazione. Curve di condensazione: caso delle miscele completamente ideali o ad immiscibilità totale in fase liquida

Equilibrio liquido gas

Condizioni generali di equilibrio. Influenza della pressione e della temperatura sulla solubilità di un gas in un liquido. Condensazione in presenza di un incondensabile. Definizione della Umidità Equilibrio Chimico

Definizione della costante termodinamica di equilibrio. Calcolo della costante termodinamica di equilibrio e sua dipendenza dalla temperatura. Calcolo della composizione di equilibrio in condizioni operative fissate: sistemi omogenei in fase liquida e in fase gassosa. Equilibri in sistemi eterogenei: condizioni di equilibrio chimico e fisico.

### **Testi adottati**

"Termodinamica per l'ingegneria chimica" di Fausto Gironi

### **Prerequisiti**

Il corso si fonda sulle conoscenze acquisite a Chimica e Fisica I

### **Modalità di svolgimento**

Lezione frontale

### **Modalità di frequenza**

In presenza

### **Modalità di valutazione**

Prova scritta: esercizi da risolvere, anche numericamente

Prova orale: ammissione in base agli esiti della prova scritta, discussione di problemi o domande di teoria

### **Laboratorio di informatica (6 CFU)**

**Prof. Daniele Perna** ([daniele.perna@uniroma1.it](mailto:daniele.perna@uniroma1.it))

### **Obiettivi**

Conoscenza delle più efficaci e produttive modalità di impiego del software di calcolo e simulazione "Matlab/Simulink" per la risoluzione di problemi di modellazione e calcolo scientifico.

Implementazione, in linguaggio di programmazione Matlab, di un algoritmo di calcolo per la risoluzione di un problema ingegneristico.

Scelta, tra le diverse soluzioni possibili, della struttura ottimale per il codice di simulazione, integrando sinergicamente i vari strumenti di calcolo disponibili.

Documentazione del codice e presentazione dei dati di uscita (ad es. mediante grafici o tabelle) in maniera rappresentativa, chiara e completa.

Utilizzo e integrazione di documentazione tecnica ed esempi di codice al fine di risolvere specifici problemi e per un approfondimento della conoscenza del programma

### **Programma**

Introduzione all'elaborazione automatica delle informazioni.

I sistemi di elaborazione: architettura hardware e software.

Schema funzionale di un elaboratore elettronico; funzionamento elementare di un elaboratore.

La rappresentazione delle informazioni: sistemi di numerazione e codici (binario, BCD, ASCII), rappresentazione binaria di interi, caratteri e aritmetica intera.

Algoritmi: definizione e descrizione.

Le istruzioni e i diagrammi a blocchi strutturati.

Gli schemi di iterazione e ricorsione.

Condizioni nelle istruzioni di controllo: operatori logici e relazionali, tavole di verità. Linguaggi di programmazione

Matlab: rappresentazione di matrici, variabili ed espressioni, costrutti linguistici per il controllo del flusso (strutture iterative: for, while; strutture condizionali: if-else; switch-case)

Funzioni scalari, vettoriali e matriciali.

Gestione degli M-files: script-files e function-files.

Tipi di dati in Matlab, array di strutture.

Gestione della grafica 2D e 3D.

Simulink.

### **Testi adottati**

1) Holly Moore, "MATLAB per l'ingegneria", Pearson

2) J. Glenn Brookshear - Dennis Brylow, Informatica. Una panoramica generale, Pearson

### **Bibliografia di riferimento**

1) W. J. Palm III, "MATLAB. Un'introduzione per gli ingegneri", McGraw Hill 2) Manuali di Matlab e Simulink: <http://www.mathworks.com> 3) Qualsiasi testo di ECDL 4) dispense del docente

### **Prerequisiti**

Il corso prevede l'utilizzo di un Personal Computer (desktop) o altro dispositivo personale (laptop/tablet ecc.) adeguatamente configurato: è pertanto utile la conoscenza della struttura HW e SW di un sistema di elaborazione. Di particolare utilità è la gestione di file e cartelle. Analogamente è auspicabile una adeguata conoscenza degli strumenti matematici fondamentali di calcolo algebrico, integrale e differenziale, ed in particolare delle equazioni differenziali. Non sono previste propedeuticità con altri insegnamenti.

### **Modalità di svolgimento**

Lezioni ed esercitazioni (frontali). Si consiglia la dotazione di un dispositivo elettronico personale per la parte pratica di programmazione con MatLab. Gli studenti vengono "guidati", grazie alla condivisione dello schermo del docente, nella risoluzione dei problemi proposti. Il docente visualizza alternativamente le slides (contenenti la descrizione del problema e, tipicamente, una descrizione analitica della sua risoluzione) e le varie finestre del programma Matlab-Simulink. Gli studenti costruiscono i propri modelli lavorando in autonomia sulle proprie postazioni ed in sincronia con il docente, che illustra dettagliatamente come operare in Matlab e/o in Simulink.

### **Modalità di frequenza**

Il materiale didattico del corso è disponibile sul sito di e-learning (moodle). Gli studenti possono: - accedere gratuitamente ai software specializzati MathWorks relativi al corso (MATLAB, Simulink e più di 80 toolbox) - effettuare un numero illimitato di attivazioni - scaricare la loro licenza individuale direttamente attraverso il Portale MATLAB per dispositivi personali, sia in Università che all'esterno - programmare direttamente sul sito della Mathworks con la versione on line di MatLab/Simulink

### **Modalità di valutazione**

All'inizio del corso sarà somministrato un questionario di verifica delle conoscenze basilari di informatica possedute.

A metà circa del corso si svolgerà una verifica delle conoscenze acquisite in materia di Informatica generale e sui fondamenti di programmazione Matlab/Simulink.

La verifica finale consiste in una prova di programmazione che prevede la risoluzione di un problema di simulazione a copertura dei principali contenuti del programma, corredata di una descrizione sintetica del relativo algoritmo risolutivo. nel dettaglio:

a) un esercizio Matlab (scrittura di script e function files e creazione di grafici);

b) un esercizio Simulink (modello di simulazione realizzato per via grafica).

La prova di programmazione si considera svolta positivamente se, per tutti gli esercizi proposti, le operazioni richieste sono state sviluppate per la maggior parte e se il codice è esente da errori gravi.

Sono possibili tre esiti di valutazione della prova di programmazione:

- SUFFICIENTE: conseguimento dell'idoneità
- PROSSIMA ALLA SUFFICIENZA: verifica dell'elaborato e somministrazione di domande di informatica
- INSUFFICIENTE: prova non idonea

## **Terzo anno – I semestre**

### **Fenomeni di trasporto (6 CFU)**

**Prof.ssa Maria Cristina Annesini** ([mariacristina.annesini@uniroma1.it](mailto:mariacristina.annesini@uniroma1.it))

#### **Obiettivi**

Scopo del corso è introdurre gli studenti allo studio della fisica dei fenomeni di trasporto di quantità di moto, calore e materia nei processi chimici. I fenomeni sono analizzati sia a livello locale che a livello macroscopico, mettendo in rilievo l'analogia tra i diversi fenomeni di trasporto. Al termine del corso lo studente deve essere in grado di - identificare e descrivere quantitativamente i meccanismi di trasporto presenti in un processo - saper costruire semplici modelli basati sulle equazioni di bilancio di calore, materia e quantità di moto per determinare il campo di temperatura, composizione e pressione-

In particolare gli studenti dovrebbero

- conoscere le equazioni di Newton, Fourier e Fick per i flussi diffusivi
- conoscere le relazioni tra numeri adimensionali per la valutazione dei coefficienti di trasporto
- essere in grado di risolvere bilanci differenziali di quantità di moto, calore e materia per semplici problemi unidimensionali in stato stazionario
- essere in grado di risolvere bilanci macroscopici in condizioni stazionarie e non stazionarie

#### **Programma**

Trasporto molecolare di quantità di moto, calore e materia: leggi di Newton, Fourier e Fick e definizione delle proprietà di trasporto. Bilanci locali di quantità di moto, energia e materia. Cenni su fluidi non newtoniani. Moto turbolento: definizione e valutazione del fattore di attrito. Equazione di Bernoulli. Definizione dei coefficienti di trasporto di calore e materia. Relazioni adimensionali per la valutazione dei coefficienti di trasporto. Applicazione alla risoluzione di problemi di bilancio macroscopico. Trasferimento di materia e di calore tra fasi. Resistenza controllante Trasferimento simultaneo di materia e di calore

#### **Testi adottati**

M. C. Annesini, Fenomeni di Trasporto: fondamenti e applicazioni, Edizioni Ingegneria 2000, Roma, 2014

#### **Testi consigliati per la consultazione**

R. B. Bird, W. E. Stewart, E. N. Lightfoot  
Transport Phenomena  
John Wiley and Sons, New York, 2002

E. L. Cussler

Diffusion: Mass Transport in Fluid Systems  
Cambridge University Press, New York, 1997

### **Modalità di valutazione**

L'accertamento della preparazione dello studente si effettua sulla base di una prova scritta e una prova orale.

Nella prova scritta, della durata di tre ore, viene chiesto di risolvere problemi, anche numericamente, problemi inerenti agli argomenti trattati nel corso; nel corso della prova sono utilizzabili testi, appunti e formulari. Scopo della prova è valutare la capacità dello studente di operare autonomamente per integrare le competenze acquisite nel corso e applicarle a problemi di una certa ampiezza, in un quadro non necessariamente prefissato.

E' previsto il raggiungimento di una soglia minima (anche inferiore a 18/30) nella prova scritta per essere ammessi alla prova orale.

La prova scritta può essere sostituita da due prove in itinere.

La prova orale può prevedere sia domande teoriche che la soluzione di problemi. Con tale prova si intende verificare la comprensione dei fondamenti teorici del corso, la capacità di individuare le procedure per la risoluzione dei problemi, nonché la capacità di ragionamento critico sulle procedure utilizzate e i risultati ottenuti.

La valutazione è formulata complessivamente sulla base dei risultati della prova scritta e della prova orale.

### **Laboratorio di analisi dei dati (6 CFU)**

**Prof.ssa Alessandra Adrover** ([alessandra.adrover@uniroma1.it](mailto:alessandra.adrover@uniroma1.it))

#### **Obiettivi**

Formulare un problema di ottimizzazione, con particolare attenzione a problemi di fitting e stima di parametri in modelli a parametri concentrati e distribuiti.

Definire la natura vincolata o non vincolata del problema Individuazione delle condizioni necessarie e sufficienti del primo e secondo ordine che definiscono un punto di minimo vincolato e non vincolato

Affrontare numericamente il problema di stima parametrica, essendo in grado di scegliere il metodo di minimizzazione vincolata o non vincolata piu' adatta al problema specifico in analisi Concetti elementari di Statistica descrittiva. teoria della probabilita' e variabili aleatorie Formulare un problema di ottimizzazione, con particolare attenzione a problemi di fitting e stima di parametri in modelli a parametri concentrati e distribuiti.

Definire la natura vincolata o non vincolata del problema

Individuazione delle condizioni necessarie e sufficienti del primo e secondo ordine che definiscono un punto di minimo vincolato e non vincolato

Affrontare numericamente il problema di stima parametrica, essendo in grado di scegliere il metodo di minimizzazione vincolata o non vincolata piu' adatta al problema specifico in analisi Concetti elementari di Statistica descrittiva. teoria della probabilita' e variabili aleatorie

#### **Programma**

1) Introduzione al corso con la disamina di problemi di interesse dell'industria di processo e relativa formulazione di problemi di ottimizzazione vincolata e non vincolata per la stima di parametri ottimi

\* esempio di problema di optimal scheduling

\* ottimizzazione della produzione di una raffineria e relativa formulazione e soluzione di problemi di programmazione lineare

\* spessore ottimo della coibentazione di una tubazione

\* ottimizzazione della superficie di un treno di scambiatori

\* regressione non lineare di dati di equilibrio liquido-vapore

2) Ottimizzazione non vincolata

Formulazione del problema ai minimi quadrati lineare e non lineare

Caratterizzazione delle funzioni quadratiche

Direzioni di discesa e derivate direzionali

Condizioni necessarie e/o sufficienti del primo e secondo ordine per un punto di minimo  
Metodo dell'antigradiente (steepest descent)  
Metodo di Newton  
Metodo delle direzioni coniugate per funzioni quadratiche  
Metodo del gradiente coniugato per funzioni non quadratiche  
Metodo delle direzioni random  
Metodo di Powell  
Cenni sul metodo del simplesso  
Metodi di ricerca unidirezionale esatta (Newton unidirezionale e metodo delle bisezioni)

## 2) Ottimizzazione vincolata

Definizione di direzioni utili e ammissibili per vincoli di disuguaglianza e vincoli di uguaglianza  
Condizioni necessarie e/o sufficienti del primo e secondo ordine per un punto di minimo (metodo della funzione Lagrangiana e condizioni KKT)  
Metodo del gradiente ridotto  
Metodo di Rosen  
Metodo di Zoutendijk  
Metodo delle funzioni di penalità (metodo interno e metodo esterno)

## 3) Introduzione all'analisi multivariata

Valor medio, varianza, fattore di asimmetria  
Analisi delle correlazioni fra set di dati  
Matrici di varianza/covarianza e di correlazione  
Analisi delle componenti principali (PCA)

## 4) Introduzione a Matlab

Implementazione del codice per i minimi quadrati lineari  
Implementazione del codice per il metodo di Newton  
Implementazione del codice per il metodo delle direzioni random

Per sostenere la prova computazionale è necessario aver acquisito tutte le competenze di base che si sono rese necessarie per l'implementazione dei codici sviluppati in aula (vedi punti 4 del programma).

Inoltre, è necessario avere implementato autonomamente il codice del gradiente coniugato n-dimensionale nelle sue tre forme analitico, Fletcher-Reeves e Polak-Ribiere con ricerca unidimensionale esatta (Newton unidirezionale e bisezioni).

Come suggerimento, per la preparazione della prova computazionale, lo studente può cimentarsi nell'implementazione del codice per la PCA e/o del codice per la ricerca del minimo di un problema vincolato tramite il metodo delle funzioni di penalità.

### **Testi adottati**

Optimization of Chemical Processes, Thomas F. Edgar , David. M. Himmelblau ,McGraw-Hill  
Engineering Optimization: Theory and Practice, Singiresu S. Rao, Interscience  
Dispense preparate dal docente

### **Prerequisiti**

Analisi I, II, programmazione Matlab

### **Modalità di svolgimento**

Didattica frontale classica con svolgimento di numerose esercitazioni

### **Modalità di valutazione**

Prova scritta e prova pratica (computazionale)

## Fondamenti delle operazioni di separazione (6 CFU)

Prof. Antonio Zuorro ([antonio.zuorro@uniroma1.it](mailto:antonio.zuorro@uniroma1.it))

### Obiettivi

Presentare i concetti di base dell'ingegneria chimica relativi allo studio delle operazioni e delle apparecchiature di separazione. Fornire gli strumenti per la formulazione delle relazioni di bilancio di materia e di energia in condizioni stazionarie e non stazionarie. Far conoscere le metodologie per analizzare il comportamento di semplici apparecchiature di separazione a stadi e per valutare l'influenza delle variabili operative sulle loro prestazioni. Impostare e risolvere le equazioni di bilancio di materia e di energia per un sistema operante in condizioni stazionarie o non stazionarie. Impostare e risolvere le equazioni che descrivono il comportamento di apparecchiature di separazione a stadi singoli o multipli, nonché l'effetto delle principali variabili operative.

### Programma

Parte A – Richiami sui bilanci di materia e di energia

Principio di conservazione della massa. Bilanci integrali di materia per sistemi non reagenti. Applicazione alla modellizzazione delle apparecchiature di processo. Calcolo dei gradi di libertà.

Principio di conservazione dell'energia. Formulazione generale dell'equazione di bilancio di energia. Formulazione del principio di conservazione dell'energia in termini entalpici. Stati di riferimento. Calcolo di variazioni di entalpia per trasformazioni associate a variazioni di temperatura, pressione o stato fisico. Applicazione alla modellizzazione delle apparecchiature di processo.

Parte B – Calcolo del singolo stadio di equilibrio

Introduzione alle operazioni di separazione. Agenti di separazione materiali ed energetici.

Criteri di scelta. Stadi di separazione e stadi di equilibrio. Analisi del singolo stadio di equilibrio. Formulazione delle equazioni di bilancio di materia e di energia. Relazioni di equilibrio tra le fasi per sistemi ideali e non ideali.

Procedimenti grafici e analitici per il calcolo degli stadi di equilibrio liquido-vapore e gas-liquido. Diagrammi T-x-y e x-y per la rappresentazione dell'equilibrio liquido-vapore.

Diagramma entalpico.

Diagrammi triangolari e x-y per la rappresentazione dell'equilibrio liquido-liquido. Calcolo dello stadio di equilibrio liquido-liquido.

Adsorbimento: espressioni analitiche e determinazione sperimentale delle isoterme di adsorbimento. Procedimenti grafici e analitici per il calcolo degli stadi di equilibrio gas-solido e liquido-solido.

Operazioni a stadi multipli. Configurazioni a correnti incrociate e in controcorrente.

Procedimenti grafici e calcolo analitico.

Parte C – Stadi di equilibrio in controcorrente

Assorbimento multistadio in controcorrente. Retta di lavoro e curva di equilibrio. Condizioni di funzionamento limite ed effettivo. Determinazione grafica del numero degli stadi di equilibrio. Effetto delle variabili operative e della natura del solvente. Calcolo di verifica.

Fattore di assorbimento e relazione di Kremser.

Distillazione multistadio in controcorrente. Metodi grafici ed analitici per la determinazione del numero degli stadi di equilibrio. Equazione di Fenske. Condizioni di funzionamento limite ed effettivo. Calcolo di progetto e di verifica. Effetto delle variabili operative.

Apparecchiature di solo esaurimento e di solo arricchimento. Apparecchiature con immissione diretta di liquidi o di vapori saturi. Apparecchiature con condensatori o ribollitori parziali.

### Testi adottati



### Testi consigliati

- PARTE A: Sandler S.I., Chemical and Engineering Thermodynamics, Wiley & Sons, NY (1999)
- PARTI B e C: Treybal R.E., Mass-Transfer Operations, Mc-Graw Hill, NY (1980)
- Dispense fornite dal docente

### Prerequisiti

Fondamenti di termodinamica chimica e di equilibri tra le fasi. Fondamenti di calcolo differenziale e integrale. Risoluzione numerica di equazioni e sistemi di equazioni.

### Modalità di valutazione

Prova scritta (durata di circa 30 minuti), che se sufficiente (da 18/30 in su) permette di essere ammessi alla prova sulla teoria (durata di circa 15 minuti, spesso comunque come risposte scritte su un paio di punti).

## Impianti chimici I (12 CFU Totali)

**Modulo I (6 CFU): Prof.ssa Maria Paola Parisi ([mariapaola.parisi@uniroma1.it](mailto:mariapaola.parisi@uniroma1.it))**

### Obiettivi

Modulo 1 - Generalità sugli impianti chimici (6 CFU)

Il corso si propone di mettere lo studente in condizioni di conoscere la struttura di un impianto chimico, dei cicli di lavorazione e delle principali apparecchiature utilizzate, di disegnare schemi a blocchi e di processo semplificati, di leggere disegni meccanici e schemi di processo. Inoltre, lo studente sarà in grado di selezionare e dimensionare lo stoccaggio ed il sistema di tubazioni da utilizzare per l'immagazzinamento ed il trasferimento di fasi fluide, di selezionare la tipologia di separatore fluido-solido in funzione della corrente trattata e delle prestazioni richieste e di selezionare la tipologia di reattore in funzione delle fasi presenti, delle condizioni operative, della tonalità termica della reazione e dell'eventuale presenza di catalizzatore.

### Programma

Presentazione del corso (1 h);

Caratteristiche principali degli impianti chimici:

- Ciclo di lavorazione (2 h);
- Utilities (2 h);
- Sorgenti di rischio e criteri di prevenzione del rischio (6 h);
- Stoccaggi di gas, liquidi e solidi (14 h);
- Piping: tubazioni e accessori, valvole, richiami sulle macchine per fluidi (12 h);
- Operazioni e apparecchi di scambio termico (4 h);
- Operazioni di miscelazione e separazione solido-fluido (6 h);
- Principali caratteristiche dei reattori chimici (6 h);

Rappresentazioni grafiche degli impianti:

- Disegni tecnici delle apparecchiature (3 h)
- Schemi a blocchi e di processo (4 h).

### Testi adottati

Dispense e lucidi usati a lezione disponibili sul sito Moodle del corso

### Bibliografia di riferimento

- J.F. Richardson, J. H. Harker, J. R. Backhurst, "Coulson & Richardson's Chemical engineering", Vol.2, 5th ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002.
- R. K. Sinnott, "Coulson & Richardson's Chemical Engineering", Vol.6, 4th ed. Elsevier, Oxford, 2005.

### Prerequisiti

I prerequisiti richiesti riguardano la conoscenza degli equilibri di fase e di quelli chimici, e nozioni sulle caratteristiche e resistenza dei materiali.

### **Modalità di valutazione**

Si tratta del 1° modulo di un corso che prevede il 2° modulo al semestre successivo.

La valutazione della preparazione degli allievi sul programma di questo modulo viene effettuata mediante una prova orale, solitamente della durata di 45 min, che consiste nella discussione e risoluzione di due problemi tipici relativo a due diversi argomenti trattati nel corso. La prova orale ha un peso del 50% nella valutazione finale relativa al corso. Viene valutata la conoscenza delle informazioni e delle procedure necessarie per affrontare correttamente il problema proposto e la capacità di individuare gli apparecchi e le modalità operative più opportune per il caso proposto.

In caso di rinuncia al voto finale non occorre ripetere la prova orale il cui voto rimane valido.

È possibile sostenere una prova di esonero relativa al programma del I modulo in un preappello e negli appelli di esame di gennaio e febbraio, con le stesse modalità della prova.

## **Terzo anno – II semestre**

### **Processi chimici industriali (9 CFU)**

(6 CFU) Prof. Paolo De Filippis ([paolo.defilippis@uniroma1.it](mailto:paolo.defilippis@uniroma1.it))

(3 CFU) Prof.ssa Maria Paola Bracciale ([mariapaola.bracciale@uniroma1.it](mailto:mariapaola.bracciale@uniroma1.it))

### **Obiettivi**

#### *Obiettivi formativi*

Il corso fornisce un quadro di insieme, un approccio globale ai processi, a partire dai fenomeni chimico-fisici che ne sono alla base, per arrivare ai catalizzatori, agli impianti e alle procedure di gestione operativa. Tale scopo è ottenuto tramite l'analisi critica di alcuni fondamentali processi chimici. Il corso comprende una parte di fondamentali (struttura dell'industria, catalizzatori, materie prime, sicurezza, costruzione di uno schema, procedure) e una parte di analisi dei processi.

#### *Risultati di apprendimento attesi*

Lo studente deve essere in grado di applicare le nozioni precedentemente apprese nei corsi di base e specifici del settore per seguire un processo chimico nei suoi singoli stadi, quantificandone i flussi di materia e di energia. Lo studente, inoltre, a partire da una reazione chimica deve saper costruire un elementare schema di processo.

### **Programma**

Struttura dell'industria chimica. I processi chimici. Schemi, apparecchiature e materiali. Richiami di termodinamica e cenni di cinetica chimica. Basi chimico-fisiche dei processi. Combustione e combustibili. Catalizzatori industriali. Sicurezza e procedure operative.

Tecniche e metodologie di valutazione e prevenzione dell'inquinamento.

Analisi critica di alcuni processi industriali (sottoprodotti e problematiche ambientali): acido solforico, i gas industriali, gas di sintesi e idrogeno, ammoniaca e derivati azotati (urea acido nitrico acido adipico), acido cianidrico, metanolo.

### **Testi adottati**

J.A. Moulijn, M. Makkee, A. Van Diepen, Chemical Process Technology, Ed. Wiley, Chichester, UK, 2013

- Materiale fornito dal docente

### **Bibliografia di riferimento**

- J.A. Moulijn, M. Makkee, A. Van Diepen, Chemical Process Technology, Ed. Wiley, Chichester, UK, 2013 - ENI Enciclopedia degli Idrocarburi - I. Pasquon, Chimica Industriale, Ed. Città Studi

### **Prerequisiti**

Conoscenza della chimica generale e inorganica

### **Modalità di svolgimento**

Lezioni frontali ed esercitazioni svolte in classe

### **Modalità di frequenza**

Frequenza in aula non obbligatoria

### **Modalità di valutazione**

L'esame prevede una prova scritta che verterà sull'esecuzione di bilanci di materia e/o energia applicati a processi industriali e in una prova orale in cui lo studente dovrà disegnare lo schema di uno dei processi studiati e nella successiva analisi dal punto di vista termodinamico, cinetico e, se presenti degli aspetti catalitici.

Lo studente deve dimostrare di saper effettuare bilanci di materia ed energia di processi semplici, di saper disegnare uno schema semplificato del processo, di aver acquisito una conoscenza sufficiente degli argomenti del corso

Per conseguire un punteggio pari a 30/30 e lode, lo studente deve dimostrare di aver acquisito una conoscenza eccellente di tutti gli argomenti trattati durante il corso, essendo in grado di raccorderli in modo logico e coerente

## **Impianti chimici I (12 CFU Totali)**

**Modulo II (6 CFU): Prof.ssa Benedetta De Caprariis ([benedetta.decaprariis@uniroma1.it](mailto:benedetta.decaprariis@uniroma1.it))**

### **Obiettivi**

Modulo 2 - Apparecchiature per il trasferimento di materia (6 CFU)

Il secondo modulo è finalizzato a far acquisire allo studente la conoscenza dei criteri di scelta e la capacità di effettuare il dimensionamento di processo delle apparecchiature (colonne a riempimento e a piatti) in cui si realizzano le operazioni di trasferimento di materia tra fasi fluide (assorbimento/stripping, distillazione, estrazione liquido-liquido, raffreddamento dell'acqua), e di valutarne le prestazioni al variare delle condizioni operative, sia mediante procedure manuali sia utilizzando il simulatore di processo. Inoltre verranno forniti anche cenni sul controllo di processo perché lo studente acquisisca la capacità di predisporre semplici schemi di processo corredati dalla strumentazione di base.

### **Programma**

Introduzione al corso Illustrazione programma

Dimensionamento di processo delle apparecchiature per il trasferimento di materia Generalità sulle operazioni di trasferimento di materia

Apparecchiature di contatto G-L e L-L: colonne a riempimento, a piatti, altre tipologie di colonne.

Altezza equivalente allo stadio teorico. Rendimento dei piatti. Flooding, calcolo del diametro della colonna, dimensionamento dei piatti.

Assorbimento e stripping : assorbimento binario e multicomponente; effetti termici; stripping.

Calcolo dell'altezza della colonna con il metodo a stadi e con il metodo a contatto continuo.

Distillazione: distillazione binaria e multicomponente, metodi rapidi e rigorosi.

Estrazione liquido-liquido

Torri di raffreddamento dell'acqua

Simulatore di processo Simulazione di processi di separazione per distillazione, assorbimento, stripping e estrazione liquido-liquido

Cenni sul controllo di processo Schemi di controllo delle principali apparecchiature di separazione

### Testi adottati

- J.F . Richardson, J. H. Harker, J. R. Backhurst, "Coulson & Richardson's Chemical engineering", Vol.2, 5th ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002.
  - R. K. Sinnott, "Coulson & Richardson's Chemical Engineering", Vol.6, 4th ed. Elsevier, Oxford, 2005.
  - R. E. Treybal, "Mass Transfer Operations", 3rd ed., McGraw-Hill, London, 1981
- Materiale didattico fornito dal docente

### Prerequisiti

Lo studente deve avere conoscenze di: -termodinamica -bilanci di materia su operazioni unitarie - chimica

### Modalità di svolgimento

Si svolgeranno lezioni frontali in aula. E' previsto l'uso del pc per le esercitazioni.

### Modalità di frequenza

La frequenza non è obbligatoria

### Modalità di valutazione

La valutazione delle conoscenze verrà effettuata con un esame scritto diviso in due parti. La prima riguardante la progettazione di apparecchiature di scambio di materia, la seconda riguardante il disegno di uno schema strumentato.

## Elettrotecnica (9 CFU)

*Prof.ssa Francesca Romana Maradei ([francesca.maradei@uniroma1.it](mailto:francesca.maradei@uniroma1.it))*

### Obiettivi

Il corso ha lo scopo di fornire agli studenti tutti gli strumenti culturali per la comprensione dei fenomeni elettromagnetici di prevalente interesse nelle applicazioni ingegneristiche, nonché le principali tecniche di analisi dei circuiti elettrici a parametri concentrati in regime continuo, alternato e transitorio.

RISULTATI ATTESI: Al termine del corso lo studente avrà acquisito le conoscenze di base per affrontare proficuamente lo studio delle macchine elettriche e degli impianti elettrici, che saranno oggetto di corsi successivi.

### Programma

PARTE I: Circuiti elettrici

Analisi di Reti Elettriche Regime Stazionario

- Caratteristiche dei bipoli fondamentali (resistore, corto circuito ideale, circuito aperto ideale, generatore ideale di tensione, generatore ideale di corrente)
- Convenzioni sui bipoli (convenzione degli utilizzatori e dei generatori)
- Leggi di Kirchhoff
- Metodo di Tellegen della conservazione della potenza
- Generatori reali di tensione e corrente
- Legge di Ohm generalizzata
- Resistenza equivalente
- Trasformazioni triangolo-stella
- Sovrapposizione degli effetti
- Teorema di Thevenin
- Condizione di adattamento
- Metodo delle correnti di maglia
- Metodo dei potenziali nodali
- Cenni sulle misure (amperometro, voltmetro, wattmetro)

## Regime Periodico Sinusoidale

- Metodo simbolico
- Bipoli fondamentali R, L, C, RL serie, RC serie, RLC serie
- Potenza istantanea
- Potenza attiva
- Potenza reattiva
- Potenza apparente
- Potenza complessa
- Teorema di conservazione della potenza
- Metodi di analisi delle reti elettriche (correnti di maglia e potenziali nodali)
- Rifasamento

## Reti Trifase

- Sistemi simmetrici ed equilibrati
- Circuito monofase equivalente
- Carico a stella o a triangolo
- Potenziale del centro stella
- Potenze
- Rifasamento
- La misura della potenza in reti trifase a tre e quattro fili
- Sistemi simmetrici ed squilibrati

## PARTE II: Principi di Funzionamento delle Macchine Elettriche

- Circuiti magnetici
- Isteresi
- Correnti parassite
- La conversione elettromeccanica dell'energia
- Campo magnetico rotante

## Trasformatore

- Trasformatore ideale e circuito equivalente
- Circuito equivalente del trasformatore reale
- Prova a vuoto e di corto circuito
- Dati di targa
- Variazione di tensione
- Trasformatore trifase
- Collegamento degli avvolgimenti
- Rapporto di trasformazione
- Gruppo orario
- Dati di targa

## Motore Asincrono

- Caratteristiche costruttive del motore asincrono trifase
- Circuito equivalente del motore asincrono trifase
- Coppia e caratteristica meccanica
- Avviamento
- Significato dei dati di targa

## Cenni sul Generatore Sincrono

- Caratteristiche costruttive del generatore sincrono (rotore liscio e rotore a poli salienti)
- Principio di funzionamento
- Circuito equivalente
- Diagramma di Ben-Eschemburgh

## PARTE III: Gli impianti elettrici

### Linee elettriche

- Linee elettriche aeree e in cavo
- Circuito elettrico equivalente
- Caduta di tensione
- Dimensionamento dei conduttori delle linee di distribuzione

#### Elementi di Impianti Elettrici

- Generazione, trasmissione e distribuzione dell'energia
- Dispositivi di manovra e protezione: interruttore, contattore, sezionatore e fusibile
- Dispositivi di protezione dalle sovratensioni: scaricatori ad asta e varistori
- Rele' magnetico, termico, magneto-termico e differenziale
- Cenni sugli impianti TT, TN, e TN-S

#### Elementi di Sicurezza Elettrica

- Effetti della corrente sul corpo umano
- Contatti diretti e indiretti
- Protezioni contro il contatto indiretto
- Impianti di terra: dispersori, resistenza di terra, tensione di passo
- Normative

#### **Testi adottati**

##### Libri consigliati

Appunti di Elettrotecnica, vol. I, Saverio Cristina, Ed. Esculapio

Elettrotecnica volume 2: Applicazioni di Guarnieri, Gnesotto, Chitarin, Ed. Esculapio

Dispense:

<https://sites.google.com/a/uniroma1.it/francescamaradei/insegnamenti/elettrotecnica/esercizi-e-compiti-d-esame>

#### **Prerequisiti**

I contenuti di FISICA II sono conoscenze indispensabili

#### **Modalità di valutazione**

Prova scritta e orale