

**Corso di Laurea specialistica in Ingegneria Chimica**  
(Classe delle Lauree specialistiche in Ingegneria Chimica, Classe n. 27/S)

La formazione del laureato specialista in Ingegneria Chimica si rivolge primariamente allo studio delle trasformazioni chimico-fisiche della materia in quanto strumenti per la produzione e la trasformazione di beni materiali, l'erogazione di servizi e la prevenzione o mitigazione delle modificazioni dell'habitat indotte da attività o insediamenti antropici. Gli ambiti di attività sono i diversi comparti dell'Industria di Trasformazione e delle Aziende/Enti erogatori di beni e servizi, le strutture tecniche private o della Pubblica Amministrazione preposte alla gestione ed al controllo dell'ambiente e della sicurezza, nonché un più ampio spettro di collocazioni professionali per le quali sia richiesta attitudine alla gestione di processi complessi.

Il percorso formativo della Laurea specialistica in Ingegneria Chimica integra la formazione della Laurea in Ingegneria Chimica puntando a stabilire una più ampia latitudine di approccio ai problemi. Per un verso la preparazione dell'allievo viene integrata da strumenti di analisi di grandi sistemi, sottolineando gli aspetti decisionali connessi con l'esistenza di gradi di libertà. Per altro verso, l'integrazione alla scala microscopica è fornita attraverso approfondimenti rivolti alla trattazione molecolare delle proprietà di trasporto, dei parametri cinetici e termodinamici, della relazione tra struttura e proprietà della materia. La formazione mira, tra l'altro, alla maturazione di capacità di sviluppo autonomo di strumenti modellistici e progettuali di processi e prodotti anche di una certa complessità. L'apporto delle discipline di base e delle discipline generali di Ingegneria viene integrato per renderlo commisurato al più ampio bagaglio culturale richiesto in questa fase dell'apprendimento. Il laureato specialista, inoltre, dovrà essere in grado di comunicare efficacemente, in forma scritta ed orale, in almeno una lingua dell'Unione Europea, oltre l'italiano.

Il percorso formativo relativo al corso di studi per il conseguimento della Laurea specialistica in Ingegneria Chimica è finalizzato alla preparazione di tecnici qualificati alla conduzione ed alla progettazione di unità di processo e di sezioni di impianto anche complesse. Inoltre il Laureato specialistico si qualifica per l'assunzione di responsabilità di coordinamento tecnico-scientifico di gruppi di lavoro e di gestione ottimizzata di mezzi e risorse per lo sviluppo di processo ed il progetto d'impianto, anche con riferimento a sistemi complessi.

La Laurea specialistica si consegue mediante l'acquisizione di 300 Crediti Formativi Universitari (CFU), ivi compresi quelli già acquisiti con il conseguimento della Laurea. La laurea specialistica si consegue dopo aver superato una prova finale, consistente nella discussione di una tesi di laurea, elaborata dallo studente sotto la guida di un relatore, che documenti attività di ricerca, ovvero attività progettuali.

### Curricula

Insegnamento	Modulo	Settore scientifico - disciplinare	CFU	Attività formativa (#)	Ambito disciplinare	Propedeuticità
<b>I Anno – I semestre</b>						
Metodi matematici per l'ingegneria industriale	Metodi matematici per l'ingegneria industriale	MAT/05 MAT/07	6	a	1454	Nessuna
Meccanica dei solidi	Meccanica dei solidi	ICAR/08	6	c	1392	Nessuna
Cinetica chimica applicata	Cinetica chimica applicata	ING-IND/25	6	b	1391	Nessuna
Sicurezza nei processi chimici	Sicurezza nei processi chimici	ING-IND/27	4	b	1391	Nessuna
<b>I Anno – II semestre</b>						
Termodinamica	Termodinamica	ING-IND/24	4	b	1391	Nessuna
Fenomeni di trasporto	Meccanica dei fluidi	ING-IND/24	4	b	1391	Nessuna
	Trasporto di calore e di materia	ING-IND/24	4	b	1391	Nessuna
Impianti chimici	Impianti chimici	ING-IND/25	6	b	1391	Nessuna
Principi di ingegneria biochimica	Principi di ingegneria biochimica	ING-IND/24	6	b	1391	Nessuna
Dinamica e controllo dei processi chimici	Dinamica e controllo dei processi chimici	ING-IND/26	6	b	1391	Nessuna
<b>II Anno – I semestre</b>						
Reattori chimici	Reattori chimici	ING-IND/25	6	b	1391	Nessuna
Chimica industriale	Chimica industriale	ING-IND/27	8	b	1391	Nessuna

<b>II Anno – II semestre</b>						
Teoria dello sviluppo dei processi chimici	Teoria dello sviluppo dei processi chimici	ING-IND/26	6	b	1391	Nessuna
<b>II Anno – I-II semestre</b>						
Insegnamenti curriculari	Moduli curriculari		18	a/b/c		
	A scelta autonoma dello studente		6	d	1394	
	Tirocinio		9	f	2146	
	Prova finale		15	e	1395	

### Curriculum Ingegneria Chimica per la salvaguardia ambientale (Lo studente scelga moduli per 18 CFU)

Insegnamento	Modulo	Settore scientifico-disciplinare	CFU	Attività formativa (#)	Ambito disciplinare	Propedeuticità
<b>II Anno – I semestre</b>						
Ingegneria chimica ambientale	Ingegneria chimica ambientale	ING-IND/25	6	b	1391	Nessuna
Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti	Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti	ING-IND/25	3	b	1391	Nessuna
<b>II Anno – II semestre</b>						
Monitoraggio di inquinanti nell'ambiente	Monitoraggio di inquinanti nell'ambiente	ING-IND/24	6	b	1391	Nessuna
Processi avanzati di trattamento di emissioni inquinanti	Processi avanzati di trattamento di emissioni inquinanti	ING-IND/27	3	b	1391	Nessuna
Chimica applicata alla tutela dei materiali e manufatti di interesse storico	Chimica applicata alla tutela dei materiali e manufatti di interesse storico	ING-IND/22	6	b	1391	Nessuna

### Curriculum Ingegneria Chimica per la produzione e la conversione dell'energia

Insegnamento	Modulo	Settore scientifico-disciplinare	CFU	Attività formativa (#)	Ambito disciplinare	Propedeuticità
<b>II Anno – I semestre</b>						
Combustione	Combustione	ING-IND/25	6	b	1391	Nessuna
Combustibili tradizionali e innovativi	Combustibili tradizionali e innovativi	ING-IND/27	6	b	1391	Nessuna
<b>II Anno – II semestre</b>						
Sistemi di conversione dell'energia a basso impatto ambientale	Sistemi di conversione dell'energia a basso impatto ambientale	ING-IND/08	3	c	1392	Nessuna
Conversione termochimica di combustibili solidi	Conversione termochimica di combustibili solidi	ING-IND/26	3	b	1391	Nessuna

### Curriculum Ingegneria Chimica per i sistemi micro- e nanostrutturati (Lo studente scelga moduli per 18 CFU)

Insegnamento	Modulo	Settore scientifico-disciplinare	CFU	Attività formativa (#)	Ambito disciplinare	Propedeuticità
<b>II Anno – I semestre</b>						
Reologia	Reologia	ING-IND/24	6	b	1391	Nessuna
Introduzione all'ingegneria dei sistemi colloidali	Introduzione all'ingegneria dei sistemi colloidali	ING-IND/26	6	b	1391	Nessuna
<b>II Anno – II semestre</b>						
Meccanica dei fluidi complessi	Meccanica dei fluidi complessi	ING-IND/24	6	b	1391	Nessuna
Proprietà tecnologiche e fisiche dei polimeri	Proprietà tecnologiche e fisiche dei polimeri	ING-IND/22	6	b	1391	Nessuna
Introduzione alla fisica dei materiali nanostrutturati	Introduzione alla fisica dei materiali nanostrutturati	FIS/03	6	a	1027	Nessuna

## Curriculum Ingegneria Chimica per le biotecnologie industriali

(Lo studente scelga moduli per 18 CFU)

Insegnamento	Modulo	Settore scientifico-disciplinare	CFU	Attività formativa (#)	Ambito disciplinare	Propedeuticità
<b>II Anno – I semestre</b>						
Biologia molecolare	Biologia molecolare	BIO/10 BIO/11 CHIM/11	6	c	1393	Nessuna
Ingegneria delle bioconversioni	Ingegneria delle bioconversioni	ING-IND/24	6	b	1391	Nessuna
<b>II Anno – II semestre</b>						
Impianti biotecnologici	Impianti biotecnologici	ING-IND/25	6	b	1391	Nessuna
Biotecnologia ambientale	Biotecnologia ambientale	ING-IND/24	6	b	1391	Nessuna

## Curriculum Ingegneria Chimica a indirizzo impiantistico-progettuale

(Lo studente scelga moduli per 18 CFU)

Insegnamento	Modulo	Settore scientifico-disciplinare	CFU	Attività formativa (#)	Ambito disciplinare	Propedeuticità
<b>II Anno – I semestre</b>						
Tecnologie di processo di solidi granulari	Tecnologie di processo di solidi granulari	ING-IND/25	6	b	1391	Nessuna
Macchine operatrici per impianti chimici	Macchine operatrici per impianti chimici	ING-IND/08	3	c	1392	Nessuna
<b>II Anno – II semestre</b>						
Gestione ed ottimizzazione delle linee di processo	Gestione ed ottimizzazione delle linee di processo	ING-IND/25	6	b	1391	Nessuna
Costruzione di apparecchiature per l'industria di processo	Costruzione di apparecchiature per l'industria di processo	ING-IND/14	3	c	1392	Nessuna
Disegno di apparecchiature assistito dal calcolatore	Disegno di apparecchiature assistito dal calcolatore	ING-IND/15	3	c	1392	Nessuna

(#) Ai sensi dell'Art. 10 comma 1 del D.M n. 509 del 3/11/1999: a = di base; b = caratterizzanti; c = affini o integrative; d = a scelta autonoma dello studente; e = prova finale e lingua straniera; f = ulteriori conoscenze.

## Attività formative del Corso di Laurea specialistica in Ingegneria Chimica.

**Insegnamento:** Biologia molecolare

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Biologia molecolare	BIO/10, BIO/11, CHIM/11	c	II	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione		<b>Ore impegno docente:</b> 30	<b>Ore impegno studente:</b> 90	
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione		<b>Ore impegno docente:</b> 15	<b>Ore impegno studente:</b> 30	
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio		<b>Ore impegno docente:</b> 15	<b>Ore impegno studente:</b> 15	
<b>Modalità di insegnamento:</b> Seminario		<b>Ore impegno docente:</b> 6	<b>Ore impegno studente:</b> 9	
<b>Modalità di insegnamento:</b> Prova intracorso		<b>Ore impegno docente:</b> 6	<b>Ore impegno studente:</b> 6	

### Obiettivi formativi:

Il corso si propone di fornire una descrizione degli eventi molecolari che sono alla base dei processi di conservazione, duplicazione ed espressione dell'informazione genica, gli elementi di base per l'utilizzo di microorganismi per scopi industriali e degli aspetti del metabolismo, nonché le nozioni di base, teoriche e pratiche, per l'allestimento di processi di produzione di proteine ricombinanti naturali o mutate.

### Contenuti:

Struttura e chimica degli acidi nucleici. Organizzazione del DNA nelle cellule procariotiche ed eucariotiche. Le DNA-polimerasi, meccanismo del processo di duplicazione. Sintesi di RNA DNA-dipendente. Sintesi di proteine. Basi del metabolismo cellulare: metabolismo energetico e crescita microbica. Basi metaboliche della formazione del prodotto. Dal gene alla proteina ricombinante: progettazione e allestimento di un sistema di espressione ricombinante. Mutagenesi mirata o casuale. Downstream processing.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Principi di ingegneria biochimica.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----

**Insegnamento:** Biotecnologia ambientale

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Biotecnologia ambientale	ING-IND/24	b	II	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione		<b>Ore impegno docente:</b> 35	<b>Ore impegno studente:</b> 105	
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione		<b>Ore impegno docente:</b> 15	<b>Ore impegno studente:</b> 30	
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio		<b>Ore impegno docente:</b> 15	<b>Ore impegno studente:</b> 15	

### Obiettivi formativi:

Il corso descrive le principali metodologie sistemi biologici nella bonifica di acque e suoli inquinanti.

### Contenuti:

Fondamenti della biotecnologia ambientale: Microbiologia di base, microbiologia della rimozione di N, S, P, processi metanogenici. Bilanci di materia e di energia per la crescita microbica. Cinetica di crescita di culture microbiche pure e miste. Principi dei fenomeni di trasporto in bioreattori: diffusione in biofilm e fiocchi di biomassa, trasporto gas-liquido.

Risanamento di acque inquinate: Processo a fanghi attivi. Filtri a percolazione. Processo anaerobico. Processi di nitrificazione e denitrificazione.

Risanamento di suoli inquinati: Cenni di microbiologia del suolo. Modelli per il trasporto e la degradazione dei contaminanti nel suolo. Principali metodologie di risanamento dei suoli.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Principi di ingegneria biochimica.

**Modalità di accertamento del profitto:** Simulazioni numeriche, colloquio.

**Insegnamento:** Chimica applicata alla tutela di materiali e manufatti di interesse storico

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Chimica applicata alla tutela di materiali e manufatti di interesse storico	ING-IND/22	b	II	6

<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 30	<b>Ore impegno studente:</b> 90
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 15	<b>Ore impegno studente:</b> 30
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio	<b>Ore impegno docente:</b> 15	<b>Ore impegno studente:</b> 30

**Obiettivi formativi:**

Fornire allo studente una panoramica sulle problematiche connesse al degrado, alla diagnosi e alle tecniche di ripristino e conservazione dei materiali e manufatti del patrimonio storico.

**Contenuti:**

Classificazione e proprietà fisico-meccaniche dei materiali impiegati nei beni culturali. Inquinanti e meccanismi fisici, chimici e biologici del degrado dei materiali. Effetti dell'umidità e dei sali solubili, effetti dei gas e del particolato presente nell'aria, effetti dell'irradiazione termica e luminosa. Manutenzione, pulitura delle superfici e principi della conservazione dei materiali. Le tecniche diagnostiche per la caratterizzazione dei materiali antichi e dei loro prodotti di trasformazione nel tempo. Valutazione dei risultati diagnostici ai fini del recupero e della conservazione dei materiali. Materiali e tecnologie per il recupero e il consolidamento superficiale e strutturale. Valutazione della compatibilità fisica, chimica e biologica dei materiali con lo stato dei manufatti. Materiali protettivi e consolidanti. Criteri di valutazione ai fini dell'intervento di recupero.

**Propedeuticità:** Nessuna

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Colloquio e discussione di lavoro monografico svolto dallo studente.

-----

**Insegnamento:** Chimica industriale

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Chimica industriale	ING-IND/27	b	II	8

<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 56	<b>Ore impegno studente:</b> 168
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 16	<b>Ore impegno studente:</b> 32

**Obiettivi formativi:**

Mettere lo studente in condizione di definire possibili schemi alternativi per un determinato processo produttivo, basato sull'analisi di fattori quali la disponibilità di materie prime, gli aspetti chimico-fisici, tecnologici, di sicurezza e l'impatto ambientale.

**Contenuti:**

Principi di polimerizzazione: policondensazioni e poliaddizioni. Cinetiche di polimerizzazione. Pesì molecolari dei polimeri e loro controllo nei diversi processi di produzione; polimeri termoindurenti. Polimerizzazioni catalizzate. Tatticità dei polimeri. Processi di copolimerizzazione. Tecnologie di polimerizzazione. Polimeri di interesse industriale.

Catalisi eterogenea: Aspetti fondamentali e concetti di base. Classificazione dei catalizzatori industriali. Cinetica di reazioni solido-catalizzate. Caratterizzazione di proprietà fisiche e chimiche dei catalizzatori. Processi catalitici industriali: sintesi dell'ammoniaca; Produzione di acido nitrico.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova scritta e prova orale.

-----

**Insegnamento:** Cinetica chimica applicata

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Cinetica chimica applicata	ING-IND/25	b	I	6

Modalità di insegnamento: Lezione  
 Modalità di insegnamento: Esercitazione  
 Modalità di insegnamento: Laboratorio  
 Modalità di insegnamento: Seminari

Ore impegno docente: 32 Ore impegno studente: 95  
 Ore impegno docente: 10 Ore impegno studente: 30  
 Ore impegno docente: 15 Ore impegno studente: 15  
 Ore impegno docente: 5 Ore impegno studente: 10

#### Obiettivi formativi:

Il corso si propone di introdurre gli allievi all'analisi molecolare dei fenomeni di trasporto; di fornire le basi molecolari sia classiche che quantistiche delle reazioni elementari in fase gassosa ed eterogenea, termiche e fotochimiche; familiarizzare gli allievi con l'uso di codici complessi per la simulazione di schemi di cinetiche chimiche complessi.

#### Contenuti:

Teoria cinetica dei gas: potenziali intermolecolari. Equazione di Boltzmann. Teorema H e soluzioni di equilibrio. Approssimazione di Chapman-Enskog e cenni sul calcolo esatto delle proprietà di trasporto. Tempi e spazi caratteristici nel caso delle sfere rigide. Teoria delle reazioni elementari: teoria collisionale delle reazioni bimolecolari. Attivazione su sistemi a multigradi di libertà. Reazioni unimolecolari nell'approssimazione di Lindemann-Hinshelwood. Reazioni termolecolari. Cenni di meccanica quantistica: corpo nero, effetto fotoelettrico. Atomo di idrogeno (teoria di Bohr). Postulato di De Broglie. Principio di indeterminazione. Equazione di Schrödinger e sua soluzione per sistemi meccanici semplici. Metodi approssimati per atomi con più elettroni. Il legame chimico e l'approssimazione di Born-Oppenheimer per molecole biatomiche. Potenziali intermolecolari e forze di London. Cenni di meccanica statistica: Fattore di Boltzmann e funzioni di ripartizione per il gas ideale. Interpretazione meccanico-statistica delle proprietà termodinamiche dei gas. Teoria dello stato di transizione: Derivazione dell'equazione cinetica e applicazione alle reazioni bimolecolari, unimolecolari e termolecolari. Reazioni complesse: Reazioni reversibili e reazioni consecutive. L'approssimazione di stato stazionario. Reazioni a catena lineare e a catena ramificata e relative esemplificazioni. Processi fotochimici: cenni di spettroscopia atomica e molecolare. Processi fotochimici primari. Fotodissociazione e fotoionizzazione. Cenni sulla chimica della atmosfera.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----  
**Insegnamento:** Combustibili tradizionali e innovativi

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Combustibili tradizionali e innovativi	ING-IND/27	b	II	6

**Modalità di insegnamento:** Lezione

**Ore impegno docente:** 50 **Ore impegno studente:** 150

#### Obiettivi formativi:

Il corso tratta i processi di produzione dei combustibili tradizionali, le loro caratteristiche e i processi di trattamento delle materie prime che ne determinano un minor impatto ambientale. Vengono trattati, inoltre, tecnologie energetiche e combustibili innovativi, come l'idrogeno, descrivendone i processi di produzione.

#### Contenuti:

Combustibili tradizionali. Materie prime. Classificazione e usi: benzine, gasolio, kerosene. Impatto ambientale. Emissioni inquinanti e relative normative di controllo. Composizione e frazionamento del petrolio. Processi di trattamento dei tagli petroliferi: idrocracking, idrodesolforazione, idrodenitrificazione. Benzine: composizione e proprietà. Reforming catalitico.

Antidetonanti a basso impatto ambientale.

Processi di produzione di idrocarburi liquidi: liquefazione del carbone. Gasificazione del carbone. Processo Fischer-Tropsch. Cenni storici ed aspetti economici del processo. Studio termodinamico. Catalizzatore: meccanismo e cinetica. Reattori e soluzioni impiantistiche. Processi industriali.

Combustibili alternativi. Classificazione e usi. Fonti rinnovabili di energia: biomasse. Alcoli come combustibili. Emissioni ed impatto ambientale. Metanolo. Produzione del metanolo da biomasse. Produzione del metanolo da gas di sintesi: processi di alta e bassa pressione. Uso del metanolo nei motori a scoppio.

Idrogeno come combustibile. Celle a combustibile. Concetti generali. Impiego di celle a combustibile a idrogeno nell'autotrazione. Processi di produzione di idrogeno *on-board*. Reforming ossidativo del metanolo. Aspetti termodinamici. Catalizzatori a base di rame. Cinetica di reazione. Reattore autoermico. Soluzioni impiantistiche.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** prova orale.

**Insegnamento:** Combustione

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Combustione	ING-IND/25	b	II	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 40	<b>Ore impegno studente:</b> 120		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 8	<b>Ore impegno studente:</b> 24		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio	<b>Ore impegno docente:</b> 4	<b>Ore impegno studente:</b> 4		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Seminario	<b>Ore impegno docente:</b> 2	<b>Ore impegno studente:</b> 2		

**Obiettivi formativi:**

Il corso si propone di fornire gli strumenti metodologici e le conoscenze per inquadrare i processi di combustione alla fiamma ed i meccanismi ad essi associati di formazione di specie inquinanti.

**Contenuti:**

Teoria della combustione. Analisi dettagliata dei processi e delle strutture delle fiamme premiscelate in condizioni laminari quiescenti, stirate e turbolente. Introduzione alla dinamica dei mezzi reattivi turbolenti.

Combustione e formazione di inquinanti. Tipizzazione degli inquinanti: macro inquinanti (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, HCl, particolato), micro inquinanti (IPA, PCB, diossine, furani, metalli pesanti), gas-serra (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O). Cenni ai meccanismi e alle condizioni che promuovono la formazione di specie inquinanti. Diagnostica delle specie minoritarie in fase di formazione.

Prevenzione della formazione di inquinanti in sistemi di combustione. Individuazione delle opzioni che, in sede progettuale e/o di esercizio, consentono la prevenzione della formazione di inquinanti: combustione a stadi, re-burning, combustione ad alto livello di diluizione, rimozione in situ di specie minoritarie inquinanti, combustione catalitica.

Tecnologie di combustione. Rassegna delle tecnologie di combustione avanzate, riferite a combustibili tradizionali e innovativi (rifiuti e scarti di lavorazione, biocombustibili, gas di sintesi, idrogeno).

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----  
**Insegnamento:** Conversione termochimica di combustibili solidi

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Conversione termochimica di combustibili solidi	ING-IND/26	b	II	3
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 20	<b>Ore impegno studente:</b> 60		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 8	<b>Ore impegno studente:</b> 15		

**Obiettivi formativi:**

Presentare i principi e le tecnologie di conversione di combustibili solidi, in particolare bio-combustibili.

**Contenuti:**

Conoscenze e abilità. Caratteristiche dei combustibili solidi. Pre-trattamenti. Principi e tecnologie della pirolisi. Proprietà ed applicazioni dei prodotti di pirolisi. Principi e tecnologie di gassificazione. Processi di gas cleaning. Utilizzo del gas. Principi e tecnologie di combustione. Impatto ambientale e problematiche relative alla sicurezza degli impianti di conversione termochimica.

Conoscenze. Introduzione ai modelli per lo sviluppo, l'ottimizzazione e lo scale-up di impianti.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

**Insegnamento:** Costruzione di apparecchiature per l'industria di processo

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Costruzione di apparecchiature per l'industria di processo	ING-IND/14	c	II	3

**Modalità di insegnamento:** Lezione  
**Modalità di insegnamento:** Esercitazione

**Ore impegno docente:** 20 **Ore impegno studente:** 60  
**Ore impegno docente:** 6 **Ore impegno studente:** 15

**Obiettivi formativi:**

Fornire le tecniche elementari di proporzionamento meccanico/costruttivo di semplici componenti di apparecchiature chimiche: recipienti a sottile e spessa, collegamenti filettati, dispositivi di intercettazione di fluidi.

**Contenuti:**

Introduzione al comportamento meccanico dei materiali. Stati tensionali in campo elastico e plastico. Criteri di resistenza. Recipienti cilindrici in parete sottile e in parete spessa: equilibrio dei recipienti, carichi agenti sui recipienti, formula di Mariotte, Formule di Lamé per i recipienti a parete sottile. Cenni sul comportamento dei materiali a bassa e alta temperatura. Normativa in vigore per i recipienti soggetti a pressione interna.

Organi di intercettazione dei fluidi; guarnizioni.

Collegamenti filettati con applicazione al collegamento tra fondo e mantello nei recipienti a parete spessa.

Come applicazione dello studio di recipienti a parete sottile si eseguirà il progetto e la verifica di una colonna di distillazione.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Discussione dell'elaborato svolto durante il corso. Prova orale.

-----

**Insegnamento:** Dinamica e controllo dei processi chimici

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Dinamica e controllo dei processi chimici	ING-IND/26	b	I	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 28	<b>Ore impegno studente:</b> 94		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 15	<b>Ore impegno studente:</b> 30		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio	<b>Ore impegno docente:</b> 15	<b>Ore impegno studente:</b> 20		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Prova intracorso	<b>Ore impegno docente:</b> 6	<b>Ore impegno studente:</b> 6		

**Obiettivi formativi:**

Presentare gli aspetti principali della dinamica di processi chimici di tipo MIMO, identificare gli obiettivi del controllo avanzato e multivaribile e fornire gli strumenti per il progetto e la gestione di processi controllati.

**Contenuti:**

Conoscenze e abilità. Dinamica di sistemi MIMO. Sistemi a parametri distribuiti: esempi di modelli dinamici unidimensionali per processi di scambio di calore e materia, reattori chimici in fase omogenea ed eterogenea- Metodo delle linee. Analisi e progetto di sistemi di controllo avanzati (sistemi con significativi tempi morti e risposta inversa; controllo in cascata; sistemi di controllo selettivi. Controllo adattabile e inferenziale. Controllo feedforward e di rapporto. Controllo basato sul modello. Controllo feedforward multi-variabile Controllo feedforward non lineare. Controllo feedback multi-variabile. Interazione e disaccoppiamento di circuiti di controllo. Applicazioni a processi chimici Controllo digitale e sistemi discreti. Trasformata z. Risposte dinamiche di sistemi discreti. Progetto di sistemi di controllo digitale.

Conoscenze. Controllo di sistemi non lineari. Controllo di sistemi a parametri distribuiti. Controllo di impianti.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** 2 prove scritte durante il corso + una prova di laboratorio + discussione finale delle prove d'esame (votazione risultante dalla valutazione delle prove) oppure 1 prova scritta complessiva a valle del corso + discussione della prova d'esame.

-----

**Insegnamento:** Disegno di apparecchiature assistito dal calcolatore

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Disegno di apparecchiature assistito dal calcolatore	ING-IND/15	c	I	3

**Modalità di insegnamento:** Lezione  
**Modalità di insegnamento:** Esercitazione  
**Modalità di insegnamento:** Prova intracorso

**Ore impegno docente:** 12 **Ore impegno studente:** 36  
**Ore impegno docente:** 18 **Ore impegno studente:** 36  
**Ore impegno docente:** 3 **Ore impegno studente:** 3

**Obiettivi formativi:**

Capacità di organizzare e sviluppare la modellazione di parti e di apparecchiature complesse mediante sistemi CAD parametrico-variazionali. Operare aggiornamenti alla geometria modellata attraverso la modifica dimensionale e la sostituzione/aggiunta di condizioni di vincolo geometriche. Elaborare disegni costruttivi e viste esplose di assiemi.

**Contenuti:**

Modellazione 3D mediante solidi e superfici. Relazioni tra entità topologiche. Rappresentazione *B-REP*. Formula di *Eulero-Poincaré*. Modelli solidi *manifold* e *non-manifold*. *Primitive Instancing*. Sistemi basati su primitive solide e metodi costruttivi: rappresentazione CSG, operazioni booleane nel CSG. Sistemi basati sulla decomposizione. Rappresentazione esatta e semplificata. Rappresentazione *SWEEP*. Modellazione Ibrida. Modellazione *feature-based*. Metodi per la rappresentazione, per interpolazione e per approssimazione, di superfici a forma libera. La modellazione geometrica avanzata: modellazione di forme complesse mediante solidi e superfici. Metodologie di Progettazione: sistemi parametrici e variazionali; modellazione *top-down*; strutture di riferimento; organizzazione di sistemi di controllo dimensionale e geometrico dei modelli CAD. Modellazione di assiemi: relazioni di assieme, modellazione di nuovi componenti in ambiente *assembly*. Realizzazione della “messa in tavola” dei modelli 3D. Problematiche di scambio dati; esportazione dei file CAD verso sistemi esterni di analisi e simulazione.

**Propedeuticità:** Elementi di disegno e costruzione di apparecchiature dell'industria chimica.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Valutazione delle elaborazioni svolte durante le esercitazioni, elaborazione grafica conclusiva e colloquio finale.

-----

**Insegnamento:** Fenomeni di trasporto

<b>Modulo didattico</b>	<b>SSD</b>	<b>Af</b>	<b>Anno</b>	<b>CFU</b>
Meccanica dei fluidi	ING-IND/24	b	I	4

<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 20	<b>Ore impegno studente :</b> 60
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 10	<b>Ore impegno studente :</b> 20
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio	<b>Ore impegno docente:</b> 10	<b>Ore impegno studente :</b> 20

**Obiettivi formativi:**

Estensione e approfondimento delle conoscenze di meccanica dei fluidi, già acquisite nei corsi di “Fenomeni di trasporto I” e “Fenomeni di trasporto II”, facendo specifico riferimento alle equazioni locali di bilancio di quantità di moto, di energia, e di materia per sistemi a più componenti

**Contenuti:**

Conoscenze:

Approccio di campo alle equazioni di bilancio. Campi fondamentali: velocità, pressione, temperatura, concentrazione. Volume e superficie di controllo. Il concetto di flusso attraverso una superficie. Bilancio di materia. Equazione di continuità. Fluidi comprimibili e incompressibili (equazioni di stato). Bilancio della quantità di moto. Forze di superficie e forze di massa. Il tensore degli sforzi. Bilancio del momento della quantità di moto: simmetria del tensore degli sforzi. L'equazione di Cauchy. Equazione dell'energia meccanica. Fluidi Newtoniani. Equazione costitutiva. Forme dell'equazione del moto. Fluidi incompressibili. Definizione operativa di pressione. Equazioni di Navier-Stokes. Gruppi adimensionali. Fluidi perfetti. Equazioni di Eulero. Fluidi non-Newtoniani (cenni) Moto turbolento. Grandezze istantanee e grandezze medie. Bilancio della quantità di moto turbolento. Sforzi di Reynolds. Equazioni costitutive per gli sforzi di Reynolds. Flussi convergenti e divergenti. Teoria della lubrificazione. Flusso in prossimità di superfici. Teoria dello strato limite. Strato limite laminare. Strato limite turbolento.

Abilità:

Scrittura delle equazioni del moto in diversi sistemi di coordinate. Stima degli ordini di grandezza. Confronto tra i vari termini delle equazioni. Soluzioni analitiche delle equazioni del moto. Moti mono-dimensionali. Soluzioni per fluidi Newtoniani e non-Newtoniani. Applicazioni. Soluzioni analitiche delle equazioni del moto. Moti puramente viscosi. Moti rotazionali. Moti intorno a oggetti sommersi.

Soluzioni approssimate delle equazioni del moto. Equazioni della lubrificazione: esempi applicativi (es. coating). Equazioni dello strato limite: esempi applicativi (flusso al di sopra di un piatto, flusso intorno a un cuneo, lunghezza di ingresso nel moto in tubi, ecc...).

Soluzioni numeriche delle equazioni del moto. Discretizzazione delle equazioni di Navier-Stokes. Metodi alle differenze finite. Risoluzione numerica di semplici problemi di flusso. Altri metodi numerici: metodi agli elementi finiti. Software commerciale per la risoluzione delle equazioni del moto. Cenni alla risoluzione di problemi di moto turbolento.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Matematica per l'ingegneria industriale, Termodinamica.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova scritta e orale.

-----  
**Insegnamento:** Fenomeni di trasporto

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Trasporto di calore e di materia	ING-IND/24	b	I	4
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 20	<b>Ore impegno studente:</b> 60		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 12	<b>Ore impegno studente:</b> 36		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Prova intracorso	<b>Ore impegno docente:</b> 4	<b>Ore impegno studente:</b> 4		

**Obiettivi formativi:**

Estensione e approfondimento delle conoscenze di fenomeni di trasporto di calore e di materia, già acquisite nei corsi di "Fenomeni di trasporto I" e "Fenomeni di trasporto II", facendo specifico riferimento alle equazioni locali di bilancio di quantità di moto, di energia, e di materia per sistemi a più componenti.

**Contenuti:**

Trasporto di calore. Equazione locale del bilancio dell'energia e dell'energia termica. Trasmissione del calore in regime transitorio in solidi. Trasmissione del calore per fluidi viscosi in moto laminare in tubi (problema di Graetz). Convezione libera. Strato limite termico su una superficie piana con fluido in moto laminare. Calcolo dei coefficienti di trasporto di calore tra fasi diverse.

Trasporto di materia. Richiami sull'equazione costitutiva di Fick. Metodi per la determinazione e la previsione del coefficiente di diffusione in miscele binarie e in miscele a più componenti. Equazione locale di bilancio di materia per sistemi a più componenti. Trasporto di materia in regime transitorio. Strato limite di concentrazione su lastra piana. Teoria del film e della penetrazione. Teoria dello strato limite per il trasporto simultaneo di quantità di moto, di calore, e di materia su lastra piana (per moto laminare). Analogia di Chilton e Colburn.

Applicazioni. Assorbimento chimico; termodinamica delle reazioni nella soluzione reattiva, contropressione di equilibrio del componente assorbito; fattore di amplificazione del coefficiente di trasporto per i regimi di assorbimento: regime lento (sottoregimi cinetico e diffusionale); regime veloce; regime con reazione istantanea. Metodi di laboratorio per la valutazione del fattore di amplificazione; dimensionamento di massima di colonne di assorbimento chimico. Diffusione e reazione in catalizzatori porosi. Diffusività libera e alla Knudsen; diffusività effettiva; modulo di Thiele e fattore di efficienza anche in condizioni non isoterme.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Matematica per l'ingegneria industriale, Termodinamica.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova scritta e orale.

-----  
**Insegnamento:** Gestione e ottimizzazione delle linee di processo

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Gestione e ottimizzazione delle linee di processo	ING-IND/25	b	II	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 19	<b>Ore impegno studente:</b> 67		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 35	<b>Ore impegno studente:</b> 83		

**Obiettivi formativi:**

Fornire agli studenti gli strumenti per l'analisi, gestione e ottimizzazione delle linee di processo. Rassegna ragionata delle apparecchiature di processo (considerazione generali di progettazione e gestione). Studio delle metodologie per l'analisi e la sintesi dei processi e la loro ottimizzazione.

**Contenuti:**

Rassegna ragionata delle apparecchiature di processo. Richiami di: equazioni di bilancio e costitutive; condizioni di equilibrio, equazioni cinetiche e di trasporto. Analisi preliminare di un processo: decomposizione del processo in sequenza di operazioni unitarie. Gradi di libertà nel progetto e nell'esercizio di un'apparecchiatura o un cluster di apparecchiature. Variabili di un sistema ed equazioni che descrivono un sistema (processo/apparecchiatura). Variabili di stato e variabili di progetto. Scelta delle variabili di progetto. Strategie per l'individuazione della sequenza risolutiva ottimale del sistema di equazioni. Suddivisione di una linea di processo in blocchi interconnessi: cenni di teoria dei grafi. Inversione del flusso di informazioni per ridurre un sistema a blocchi con riciclo di informazioni in uno con soluzione di tipo sequenziale. Introduzione alle funzioni obiettivo comunemente impiegate nell'ottimizzazione delle operazioni dell'industria di processo. Reperimento dei dati e valutazione dei termini che concorrono alla formazione di investimenti, costi e profitti. Ottimizzazione in presenza di disponibilità limitata e illimitata di risorse finanziarie: profitto di rischio e valore di rischio, velocità di rientro degli investimenti. Ingegneria in condizioni di incertezza: funzioni obiettivo che trovano applicazione in scenari incerti. "Case study" esemplificativi relativi all'applicazione delle principali tecniche all'industria di trasformazione.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova scritta/orale.

**Insegnamento:** Impianti biotecnologici

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Impianti biotecnologici	ING-IND/25	b	II	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 35		<b>Ore impegno studente:</b> 105	
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 15		<b>Ore impegno studente:</b> 30	
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio	<b>Ore impegno docente:</b> 15		<b>Ore impegno studente:</b> 15	

**Obiettivi formativi:**

Il corso mira a completare il bagaglio di conoscenze e strumenti metodologici di allievi ingegneri chimici con riferimento all'analisi/progetto di bioreattori e di sequenze di recupero/separazione di prodotti da bioprocessi industriali.

**Contenuti:**

Analisi e progetto di bioreattori: Richiami di ingegneria delle reazioni chimiche con specifico riferimento alle problematiche di interesse bioprocessistico. Comportamento stazionario e dinamico di bioreattori. Rassegna delle tipologie di bioreattori impiegate nella bioprocessistica: sterilizzazione, fermentazione, bioreattori enzimatici. Problematiche di immobilizzazione di enzimi e introduzione alla cinetica diffusoriale in sistemi eterogenei. Problematiche di miscelazione, aerazione, scambio termico, sterilità in sistemi reagenti di interesse bioprocessistico omogenei e multifase. Cenni alle problematiche di misura e controllo e allo scale-up di bioreattori.

Operazioni di recupero e purificazione: Rassegna delle operazioni e apparecchiature di recupero/separazione di impiego ricorrente nella bioprocessistica ed analisi delle relative problematiche di progetto/esercizio. Separazioni basate sulla dinamica di sistemi multifase: filtrazione, centrifugazione e sedimentazione. Separazioni a membrana: osmosi inversa e ultrafiltrazione. Separazioni per estrazione e cromatografia. Cristallizzazione e precipitazione. Elettroforesi. Esempificazione di treni di recupero/purificazione da processi industriali.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

**Insegnamento:** Impianti chimici

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Impianti chimici	ING-IND/25	b	I	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 40		<b>Ore impegno studente:</b> 120	
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 15		<b>Ore impegno studente:</b> 30	

**Obiettivi formativi:**

Integrare la preparazione dell'allievo con riferimento alla progettazione ed esercizio ottimali delle apparecchiature di processo. Introdurre l'allievo alle metodologie di analisi di grandi sistemi e ai principi dell'ottimizzazione economica di processo.

**Contenuti:**

Formulazione generale delle equazioni di progetto con riferimento ad apparecchiature di frazionamento o separazione a stadi e continue per numero arbitrario di componenti e in presenza di non-idealità. Analisi delle problematiche di risoluzione ed esemplificazione con impiego di strumenti di calcolo automatico. Complementi di apparecchiature e unità funzionali dell'industria di processo. Introduzione all'analisi di sistemi. Cenni di Teoria dei grafi. Analisi del flusso di informazioni, individuazione di gradi di libertà locali e globali, determinazione dei ricicli di informazione. Presentazione degli algoritmi ed esemplificazioni. Introduzione alla ottimizzazione economica di processo: funzioni obiettivo, reperimento dei dati economici, metodi e sorgenti per la valutazione dei costi.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----

**Insegnamento:** Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti	ING-IND/25	b	II	3

**Modalità di insegnamento:** Lezione **Ore impegno docente:** 20 **Ore impegno studente:** 55

**Modalità di insegnamento:** Esercitazione **Ore impegno docente:** 7 **Ore impegno studente:** 14

**Modalità di insegnamento:** Prova intracorso **Ore impegno docente:** 0 **Ore impegno studente:** 6

**Obiettivi formativi:**

Il corso si propone di fornire i criteri e gli strumenti operativi per la progettazione degli impianti di trattamento delle correnti gassose inquinate.

**Contenuti:**

Sistemi di controllo delle emissioni e loro dimensionamento. Separatori meccanici a impatto e a gravità. Cicloni e multicicloni. Filtri a manica. Filtri a letto fisso o fluidizzato. Precipitatori elettrostatici. Depolveratori a umido. Adsorbitori. Assorbitori. Post-combustori termici e catalitici.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova scritta.

-----

**Insegnamento:** Ingegneria chimica ambientale

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Ingegneria chimica ambientale	ING-IND/25	b	II	6

**Modalità di insegnamento:** Lezione **Ore impegno docente:** 33 **Ore impegno studente:** 95

**Modalità di insegnamento:** Esercitazione **Ore impegno docente:** 10 **Ore impegno studente:** 30

**Modalità di insegnamento:** Laboratorio **Ore impegno docente:** 15 **Ore impegno studente:** 15

**Modalità di insegnamento:** Seminari **Ore impegno docente:** 5 **Ore impegno studente:** 10

**Obiettivi formativi:**

Il corso fornisce conoscenze relative ai meccanismi di formazione dei principali inquinanti, agli interventi di riduzione della loro emissione, alle trasformazioni chimico-fisiche di tali inquinanti nell'atmosfera e all'effetto della loro presenza sulle variazioni climatiche.

**Contenuti:**

Principali inquinanti di origine antropica; inquinanti primari e secondari; fattori di emissioni e normativa ambientale.

Meccanismi di formazione dei principali inquinanti prodotti da sistemi di combustione e interventi per la riduzione delle loro emissioni: monossido di carbonio, composti organici volatili (COV), benzene, idrocarburi policiclici aromatici (IPA), fuliggine, ossidi di azoto, diossine (PCDD), furani (PCDF), particolato metallico.

L'atmosfera: composizione, variazione di temperatura e pressione, stratificazione, radiazione solare, fotochimica.

La chimica della stratosfera: meccanismi di riduzione dell'ozono, effetto degli alogocarburi, le nuvole stratosferiche.

La chimica della troposfera: il ciclo primario dell'ozono, il ruolo degli idrocarburi e degli ossidi di azoto, i composti riserva.

Effetti climatici di aerosol e gas di origine antropica: il bilancio energetico globale, i gas serra, il ruolo del particolato.

Particolato atmosferico: origine, composizione, funzione di distribuzione delle dimensioni. Evoluzione del particolato nell'atmosfera e formazione di particolato secondario: meccanismi di nucleazione, coagulazione e bilanci di popolazione.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----

**Insegnamento:** Ingegneria delle bioconversioni

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Ingegneria delle bioconversioni	ING-IND/24	b	II	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 35	<b>Ore impegno studente:</b> 105		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 15	<b>Ore impegno studente:</b> 30		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio	<b>Ore impegno docente:</b> 15	<b>Ore impegno studente:</b> 15		

**Obiettivi formativi:**

Il corso fornisce gli elementi di modellistica e i criteri di dimensionamento necessari per la progettazione di reattori enzimatici e fermentativi. Nella parte finale, vengono analizzati in dettaglio alcuni processi biologici, tra quelli di maggiore rilievo applicativo.

**Contenuti:**

Fermentatori convenzionali: reattori discontinui, semicontinui e continui. Sistemi con riciclo di cellule.

Fermentatori non convenzionali. Reattori a membrana, hollow fiber, air lift.

Modellistica fermentativa: modelli non strutturati (Monod, Sonleitner e Kappeli) modelli strutturati (Williams, Nielsen), modelli segregati.

Applicazione industriale di colture cellulari: per la produzione di etanolo, acidi organici, antibiotici, lieviti, metano, enzimi.

Applicazione industriale di trasformazioni enzimatiche: deacilazione della penicillina, idrolisi del lattosio, idrolisi dell'amido, isomerizzazione del glucosio, risoluzione di racemi, trasformazione di trigliceridi e loro derivati.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Principi di ingegneria biochimica.

**Modalità di accertamento del profitto:** Simulazioni numeriche, colloquio.

-----

**Insegnamento:** Introduzione alla fisica dei materiali nanostrutturati

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Introduzione alla fisica dei materiali nanostrutturati	FIS/03	a	II	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 44	<b>Ore impegno studente:</b> 132		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 10	<b>Ore impegno studente:</b> 30		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Seminari	<b>Ore impegno docente:</b> 6	<b>Ore impegno studente:</b> 12		

**Obiettivi formativi:**

Lo scopo principale del corso è quello di fornire una panoramica sulla fisica dei materiali nanostrutturati e sulle loro potenzialità applicative.

**Contenuti:**

- a) Cenni di Meccanica Quantistica: Fotoni - L'atomo di Bohr – L'ipotesi di De Broglie - La funzione d'onda – Il principio d'indeterminazione – L'equazione di Schrödinger – Applicazioni.
- b) Cenni di Fisica dei Solidi: Strutture cristalline – Bande di energia – Conduttori, isolanti e semiconduttori.
- c) Materiali Nanostrutturati: Cenni sulle principali tecniche di sintesi di nanocluster di semiconduttori e metalli – Cenni alle tecniche numeriche per lo studio delle proprietà strutturali – Struttura elettronica e proprietà ottiche di super-reticoli, fili quantici e punti quantici – Atomi artificiali e dispositivi a singolo elettrone – Nanotubi di carbonio e fullereni – Applicazioni.

-----

**Insegnamento:** Introduzione all'ingegneria dei sistemi colloidali

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Introduzione all'Ingegneria dei Colloidi	ING-IND/26	b	II	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 30	<b>Ore impegno studente:</b> 90		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 10	<b>Ore impegno studente:</b> 30		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio info.	<b>Ore impegno docente:</b> 20	<b>Ore impegno studente:</b> 60		

**Obiettivi formativi:**

Integrare la preparazione dell'allievo con riferimento alla conoscenza dei sistemi colloidali ed alla loro modellazione e simulazione.

**Contenuti:**

I sistemi colloidali: un fluido strutturato. La rilevanza dei sistemi colloidali nei processi industriali e biomedici. Microstrutture a base di polimeri, biomolecole (proteine e virus), surfattanti aggregati (micelle, vescicole, gocce). Introduzione alla descrizione teorica dei sistemi colloidali. Metodi di microsimulazione. L'insieme statistico. Metodi MonteCarlo. Sistemi colloidali sottoposti a flusso. Moto di una particella singola in un fluido. Introduzione ai metodi di simulazione. Proprietà dei sistemi colloidali determinabili con microsimulazioni molecolari. Sviluppo di una simulazione in laboratorio informatico sulla deformazione in flusso di una goccia.

-----

**Insegnamento:** Macchine operatrici per impianti chimici

Insegnamento	SSD	Af	Anno	CFU
Macchine operatrici per impianti chimici	ING-IND/08	c	II	3
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 20	<b>Ore impegno studente:</b> 60		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 5	<b>Ore impegno studente:</b> 10		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio	<b>Ore impegno docente:</b> 5	<b>Ore impegno studente:</b> 5		

**Obiettivi formativi:**

Il modulo fornisce le conoscenze essenziali necessarie a operare la scelta, l'accoppiamento e la gestione delle macchine operatrici utilizzate nei principali impianti chimici.

**Contenuti:**

Macchine operatrici termiche e idrauliche, volumetriche e dinamiche. Parametri adimensionali, e criteri di selezione. Sistemi di avviamento e regolazione. Applicazioni agli impianti di raffinazione, di sintesi (ammoniaca, metanolo ed urea), di produzione dell'etilene e dell'acido nitrico, di frazionamento dell'aria e gassificazione, di re-iniezione, trasporto e liquefazione.

**Propedeuticità:** Nessuna**Prerequisiti:** Nessuno.**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----

**Insegnamento:** Meccanica dei fluidi complessi

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Meccanica dei fluidi complessi	ING-IND/24	b	II	6

**Modalità di insegnamento:** Lezione  
**Modalità di insegnamento:** Esercitazione  
**Modalità di insegnamento:** Laboratorio

**Ore impegno docente:** 30 **Ore impegno studente:** 90  
**Ore impegno docente:** 15 **Ore impegno studente:** 30  
**Ore impegno docente:** 15 **Ore impegno studente:** 30

**Obiettivi formativi:**

Il corso si propone di illustrare gli aspetti fondamentali della meccanica dei fluidi complessi con riferimento alla definizione delle equazioni costitutive e alla soluzione di specifici problemi di flusso.

**Contenuti:**

Equazioni del moto per fluidi incomprimibili. Il tensore degli sforzi. Fluidi newtoniani e richiamo dell'equazione di Navier-Stokes. Il caso dei moti viscosi e la teoria della lubrificazione. Fluidi complessi (nonlineari o non-newtoniani). Il problema dell'equazione costitutiva. Fluidi puramente viscosi a viscosità variabile. Fluidi viscoelastici. Legame fra equazione costitutiva e struttura del fluido. Equazioni costitutive di tipo integrale e di tipo differenziale. Soluzione per flussi spazialmente omogenei (flussi semplici). La soluzione dei problemi di flusso complessi mediante schemi numerici alle differenze finite oppure agli elementi finiti.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----  
**Insegnamento:** Meccanica dei solidi

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Meccanica dei solidi	ICAR/08	c	I	6

**Modalità di insegnamento:** Lezione **Ore impegno docente:** 40 **Ore impegno studente:** 120  
**Modalità di insegnamento:** Esercitazione **Ore impegno docente:** 15 **Ore impegno studente:** 30

**Obiettivi formativi:**

Il corso si propone di trattare gli argomenti principali di meccanica dei solidi con riferimento al calcolo di strutture in campo elastico lineare ed ultraelastico e di fornire gli strumenti essenziali per le verifiche strutturali.

**Contenuti:**

Analisi della deformazione finita di un mezzo continuo secondo Cauchy: distorsione di un simpleso, tensore metrico equivalente, forme di volume. Spostamenti virtuali e tensore di deformazione tangente, velocità di dilatazione, di scorrimento angolare e di espansione volumetrica. Assioma di equilibrio di Bernoulli, teorema dei lavori virtuali e stato tensionale come moltiplicatore di Lagrange del vincolo di rigidità. Elementi di teoria spettrale degli operatori normali: autovalori ed autovettori dello stato tensionale e deformativo. Statica delle strutture monodimensionali. Azioni viaggianti e linee di influenza. Legami elastici lineari e gruppo di simmetria materiale. Legami isotropi, relazioni di Navier, modulo di Young, costanti di Lamé, rapporto di Poisson e modulo volumetrico. Energia elastica: teoremi di Maxwell-Betti e di Clayperon. Linee di influenza per travature elastiche. Elementi di teoria della trave: flessione e sforzo normale, torsione e taglio. Fenomeni ultraelastici per materiali duttili e fragili e criteri di resistenza. Legge di Schmid. Criteri di Tresca e di Von Mises, criteri di Grashof e di Mohr-Cauchy. Fenomeni di instabilità dell'equilibrio elastico, trave di Eulero e cilindri compressi.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----  
**Insegnamento:** Metodi matematici per l'ingegneria industriale

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Metodi matematici per l'ingegneria industriale	MAT/05-07	a	I	6

**Modalità di insegnamento:** Lezione **Ore impegno docente:** 30 **Ore impegno studente:** 106  
**Modalità di insegnamento:** Esercitazione **Ore impegno docente:** 22 **Ore impegno studente:** 44

**Obiettivi formativi:**

Acquisizione e consapevolezza operativa dei concetti e dei risultati fondamentali, in vista delle principali applicazioni, relativi alle equazioni differenziali ordinarie e alle derivate parziali, all'analisi complessa e all'analisi di Fourier.

**Contenuti:**

Richiami sulla sviluppabilità in serie di Taylor di funzioni reali. Funzioni elementari nel campo complesso, serie di potenze. Funzioni analitiche. Integrali di linea di funzioni di variabile complessa. Sviluppo in serie di Taylor. Sviluppo in serie di Laurent. Residui e applicazioni al calcolo di integrali. Cenni sulla misura e sull'integrazione secondo Lebesgue. Serie di Fourier; convergenza puntuale e convergenza in media quadratica. Trasformata di Fourier: definizione e proprietà formali; antitrasformata. Trasformata di Laplace: definizione; esempi notevoli di trasformata di Laplace; proprietà formali; antitrasformata; uso della trasformata di Laplace nei modelli differenziali lineari. Problemi ai limiti per equazioni differenziali omogenee e non. Equazioni differenziali e sistemi di equazioni differenziali ordinarie. Equazioni differenziali alle derivate parziali: equazioni differenziali alle derivate parziali del primo ordine e il metodo delle caratteristiche; equazione di Laplace; equazione del calore; equazioni delle onde. Elementi di Calcolo delle Variazioni.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prove applicative in itinere e/o prova finale; colloquio.

-----

**Insegnamento:** Monitoraggio di inquinanti nell'ambiente

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Monitoraggio di inquinanti nell'ambiente	ING-IND/24	b	II	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 40 <b>Ore impegno studente:</b> 120			
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 10 <b>Ore impegno studente:</b> 20			
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio	<b>Ore impegno docente:</b> 10 <b>Ore impegno studente:</b> 10			

**Obiettivi formativi:**

Fornire le nozioni per la conduzione di operazioni di monitoraggio e lo studio dei fenomeni di trasporto e dispersione degli inquinanti nell'ambiente in particolare in atmosfera e nel suolo.

**Contenuti:**

Espressioni della concentrazione nelle diverse fasi e fattori di conversione, legge di stato dei gas ideali. Elementi di statistica per l'analisi dei dati (distribuzione normale, media, deviazione standard, intervallo di confidenza, metodo dei minimi quadrati). Elementi di analisi strumentale (tempo di mediazione, tempo di campionamento, accuratezza, precisione, limite minimo rilevabile). Rappresentazione dei dati con utilizzo di software di grafica. Equilibrio chimico, fugacità, legge di Henry, legge di Raoult, coefficienti di ripartizione, isoterme di adsorbimento. Trasporto di materia: legge di Fick, diffusione in stagnante, coefficiente di trasporto di materia, teoria dei due film, equazione di bilancio di materia, numero di Peclet. Atmosfera: tecniche di analisi dei principali inquinanti atmosferici, normativa sulla qualità dell'aria, caratteristiche fisiche dell'atmosfera, modelli di dispersione gaussiani, progettazione di reti di monitoraggio, utilizzo di software di dispersione. Suolo e acque profonde: tecniche di campionamento e di analisi dei principali inquinanti, normativa, elementi di idrogeologia, modelli di dispersione in zona satura e insatura.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Ingegneria chimica ambientale.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----

**Insegnamento:** Principi di ingegneria biochimica

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Principi di ingegneria biochimica	ING-IND/24	b	I	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 50 <b>Ore impegno studente:</b> 100			
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 15 <b>Ore impegno studente:</b> 50			

**Obiettivi formativi:**

Acquisizione dei concetti base di biochimica ed enzimologia applicate. Acquisizione di strumenti di interfacciamento professionale con biotecnologi, microbiologi, genetisti. Approccio ingegneristico alle applicazioni biotecnologiche nei settori industriali, del trattamento di reflui, della bonifica ambientale.

**Contenuti:**

Struttura delle proteine. Catalisi enzimatica. Cinetica enzimatica. Enzimi immobilizzati. Cenni di microbiologia e di biologia molecolare. Stechiometria cellulare. Sintesi delle proteine. Metabolismo energetico. Processi fermentativi.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----

**Insegnamento:** Processi avanzati di trattamento di emissioni inquinanti

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Processi di ossidazione avanzata	ING-IND/27	b	II	3

**Modalità di insegnamento:** Lezione

**Ore impegno docente:** 26 **Ore impegno studente:** 75

**Obiettivi formativi:**

Fornire allo studente le conoscenze sui processi di rimozione chimica avanzata di inquinanti tossici da correnti liquide refrattarie ai trattamenti convenzionali.

**Contenuti:**

Generalità sui reflui nell'industria di processo, reflui refrattari ai trattamenti biologici. Generalità sui processi di ossidazione avanzata per il trattamento di reflui liquidi, meccanismi e cinetiche. Ozonizzazione diretta e promossa da ossidi metallici, da radiazioni UV e/o da perossido di idrogeno. Fotolisi del perossido di idrogeno. Processi Fenton, foto-Fenton e mineral-catalysed-Fenton. Fotocatalisi. Wet oxidation. Processi integrati chimico-biologici. Esempi applicativi.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----

**Insegnamento:** Proprietà tecnologiche e fisiche dei polimeri

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Proprietà tecnologiche e fisiche dei polimeri	ING-IND/22	b	I	6

**Modalità di insegnamento:** Lezione

**Ore impegno docente:** 30 **Ore impegno studente:** 90

**Modalità di insegnamento:** Esercitazione

**Ore impegno docente:** 15 **Ore impegno studente:** 30

**Modalità di insegnamento:** Laboratorio

**Ore impegno docente:** 15 **Ore impegno studente:** 30

**Obiettivi formativi:**

Il corso si propone di approfondire le relazioni tra proprietà macroscopiche tecnologicamente rilevanti e struttura dei materiali polimerici. In particolare vengono analizzati i comportamenti termodinamici di polimeri e soluzioni polimeriche nonché gli aspetti dinamici connessi alle proprietà di flusso e di deformazione nonché di evoluzione chimica dei sistemi macromolecolari.

**Contenuti:**

Proprietà di una macromolecola isolata. Leggi di scala. Termodinamica ed equazioni di stato di fusi polimerici, 'blend' polimerici, soluzioni polimeriche diluite e concentrate, di gel polimerici e gomme. Aspetti teorici avanzati della transizione vetrosa. Aspetti teorici avanzati del processo di cristallizzazione e morfologia dei cristalli polimerici. Moto molecolare di polimeri in soluzioni diluite e in sistemi con "entanglements". Implicazioni sul comportamento reologico. Aspetti chemo-reologici delle reazioni di reticolazione di termoindurenti. I polimeri allo stato solido. Proprietà meccaniche e di trasporto di massa di polimeri vetrosi e polimeri gommosi. Meccanismi di deformazione, comportamenti

anisotropi, scorrimento e meccanismi di frattura. Effetti della morfologia, della struttura chimica e molecolare sulle proprietà macroscopiche. Cenni sulle principali tipologie di polimeri e sulle applicazioni tecnologiche.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----  
**Insegnamento:** Reattori chimici

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Reattori chimici	ING-IND/25	b	II	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 30	<b>Ore impegno studente:</b> 90		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 15	<b>Ore impegno studente:</b> 30		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio	<b>Ore impegno docente:</b> 15	<b>Ore impegno studente:</b> 15		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Seminario	<b>Ore impegno docente:</b> 6	<b>Ore impegno studente:</b> 9		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Prova intracorso	<b>Ore impegno docente:</b> 6	<b>Ore impegno studente:</b> 6		

**Obiettivi formativi:**

Integrare la preparazione dell'allievo con riferimento alla progettazione ed esercizio ottimali dei reattori chimici.

**Contenuti:**

Formulazione generale delle equazioni che governano il comportamento dei sistemi reagenti per arbitrarie condizioni di flusso. Approssimazioni ricorrenti e particolarizzazione alle condizioni di flusso ideale. Trattazione delle non idealità di flusso. Tempi di residenza di elementi fluidi in reattori continui e relative funzioni di distribuzione. Tracciamento di recipienti continui per la determinazione delle funzioni di distribuzione di tempi di residenza. Determinazione della conversione in condizioni di flusso massimamente miscelato e massimamente segregato. Modelli per la conversione in sistemi a parziale segregazione.

Problemi di reattoristica eterogenea. Cinetica e modalità di conversione in reazioni fluido-particella. Trattazione delle reazioni eterogenee solido-gas con solido reagente e non. Rassegna delle principali tipologie di reattori eterogenei. Cenni ai fenomeni di fluidizzazione e al comportamento di reattori ed apparecchiature di processo a letto fluidizzato.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova scritta.

-----  
**Insegnamento:** Reologia

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Reologia	ING-IND/24	b	II	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 32	<b>Ore impegno studente:</b> 96		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 24	<b>Ore impegno studente:</b> 48		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio	<b>Ore impegno docente:</b> 6	<b>Ore impegno studente:</b> 6		

**Obiettivi formativi:**

- 1) Illustrare la fenomenologia relativa al comportamento reologico di fluidi a carattere newtoniano e non.
- 2) Fornire semplici strumenti concettuali e modellistici per la trattazione quantitativa di problemi associati alle lavorazioni di materiali polimerici.

**Contenuti:**

La reometria. Le misure di viscosità e sforzi normali in flusso di scorrimento. La misura della risposta elongazionale. La viscoelasticità lineare. Le misure in campo non lineare. I polimeri e le macromolecole. La viscosità intrinseca. La reologia delle soluzioni concentrate di polimeri e dei polimeri fusi. Effetti del flusso sulle orientazioni molecolari. Elementi di reometria ottica. Reologia di sistemi eterofasici: emulsioni, sospensioni, tensioattivi, gel e polymer blends. Il legame tra comportamento reologico e struttura. Le modifiche di struttura indotte dal flusso, con riferimento ai processi

di estrusione, filatura e stampaggio a iniezione. Esempi applicativi dell'industria alimentare, della cosmesi, dei detersivi, delle materie plastiche.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Fenomeni di trasporto.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----

**Insegnamento:** Sicurezza nei processi chimici

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Sicurezza nei processi chimici	ING-IND/27	b	I	4

**Modalità di insegnamento:** Lezione **Ore impegno docente:** 30 **Ore impegno studente:** 90

**Modalità di insegnamento:** Esercitazione **Ore impegno docente:** 5 **Ore impegno studente:** 10

**Obiettivi formativi:**

Fornire agli studenti le conoscenze relative agli aspetti di sicurezza connessi allo stoccaggio, al trasporto e alle trasformazioni di sostanze pericolose (instabili, infiammabili, tossiche).

**Contenuti:**

Tipologie incidentali nell'industria chimica e di processo. Stabilità termica delle sostanze ed esplosione termica. Sicurezza di reattori chimici. Incendi ed esplosioni. Sorgenti di agnizione; autoignizione, energie minime di innesco. Stima dei danni dovuti a incendi ed esplosioni. Tossicologia e igiene industriale: identificazione, valutazione e controllo dell'esposizione ad agenti tossici nei luoghi di lavoro. Procedure per la prevenzione di incendi ed esplosioni/protezione dalle esplosioni.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----

**Insegnamento:** Sistemi di conversione dell'energia a basso impatto ambientale

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Sistemi di conversione dell'energia a basso impatto ambientale	ING-IND/08	c	II	3

**Modalità di insegnamento:** Lezione **Ore impegno docente:** 25 **Ore impegno studente:** 65

**Modalità di insegnamento:** Esercitazione **Ore impegno docente:** 5 **Ore impegno studente:** 10

**Obiettivi formativi:**

Il modulo fornisce conoscenze di base sulle tecnologie innovative dei sistemi di conversione dell'energia primaria orientati al risparmio energetico e alla riduzione delle emissioni inquinanti.

**Contenuti:**

Sistemi per la riduzione, l'abbattimento o la segregazione di specie inquinanti e il loro effetto sulle prestazioni degli impianti motori termici; l'integrazione degli impianti motori con sistemi per lo sfruttamento del carbone o per il recupero energetico da bio-masse o rifiuti solidi urbani attraverso processi di gassificazione; sistemi ibridi con celle a combustibile e impianti motori (turbine a gas o motori alternativi).

**Propedeuticità:** Nessuna

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

**Insegnamento:** Tecnologie di processo di solidi granulari

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Tecnologie di processo di solidi granulari	ING-IND/25	b	II	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 35	<b>Ore impegno studente:</b> 105		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 15	<b>Ore impegno studente:</b> 30		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio	<b>Ore impegno docente:</b> 15	<b>Ore impegno studente:</b> 15		

**Obiettivi formativi:**

Il corso mira a fornire agli allievi le conoscenze generali inerenti le tecnologie di processo di solidi granulari, con riferimento alle problematiche di contatto e reazione in sistemi polifasici e di trasporto. Particolare enfasi è fornita alle tecniche di fluidizzazione e alle relative applicazioni.

**Contenuti:**

Generalità sui sistemi granulari: Caratteristiche di sistemi granulari. Granulometria, parametri di forma, caratteristiche morfologiche e porosimetriche. Dinamica di sistemi granulari: forze agenti su sistemi particellari, elementi di reologia di sistemi granulari.

Generalità sui regimi di flusso bifase: Classificazione dei regimi di flusso bifase. Generalità sui modelli per la descrizione del flusso bifase: modelli pseudo-omogeneo e a fasi separate. Flusso bifase dominato dall'attrito in parete o dall'inerzia. Flusso bifase dominato dalle forze mutue tra le fasi: il modello a flusso di "drift". Teoria delle onde di continuità. Applicazione della teoria delle onde di continuità alla sedimentazione discontinua di sospensioni.

Fluidizzazione e sistemi fluido-particella: Fenomenologia della fluidizzazione. Incipiente fluidizzazione ed espansione omogenea di letti di particelle. Stabilità dello stato di espansione omogenea del letto: fluidizzazione particellare e aggregativa. Classificazione di Geldart delle polveri. Regimi di fluidizzazione veloce: fluidizzazione turbolenta, regimi di trasporto. Proprietà delle bolle in letti fluidizzati. Campi di moto del solido e del gas intorno a una bolla: bolle "clouded" e "cloudless". Meccanismi di scambio di materia tra bolle e fase densa. "Drift" del solido associato al moto di una bolla. Valutazione dell'entità della miscelazione del solido e del gas in un letto fluidizzato bollente. Teoria della fluidizzazione a due fasi. Meccanismi di scambio termico tra sospensioni fluidizzate e superfici immerse nel letto. Elutriazione di polveri e valutazione delle sezioni di disimpegno. Esempificazione e applicazione dei concetti generali esposti al progetto di apparecchiature dell'industria di processo per il contatto solido-fluido (reattori a letto fluidizzato, decantatori e ispessitori, etc.).

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova orale.

-----

**Insegnamento:** Teoria dello sviluppo dei processi chimici

Modulo didattico:	SSD	Af	Anno	CFU
Teoria dello sviluppo dei processi chimici	ING-IND/26	b	II	6
<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 34	<b>Ore impegno studente:</b> 100		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 10	<b>Ore impegno studente:</b> 20		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Laboratorio	<b>Ore impegno docente:</b> 12	<b>Ore impegno studente:</b> 24		
<b>Modalità di insegnamento:</b> Prove intracorso	<b>Ore impegno docente:</b> 6	<b>Ore impegno studente:</b> 6		

**Obiettivi formativi:**

- 1- Analisi di processi e apparecchiature di processo come sistemi dinamici.
- 2- Costruzione dei diagrammi delle soluzioni di regime e dei diagrammi delle biforcazioni.
- 3- Stabilità di processi chimici e apparecchiature di processo.

**Contenuti:**

Sistemi dinamici: definizione e classificazione. Sistemi continui e discreti. Sistemi invertibili. Sistemi vettoriali. Sistemi conservativi, non conservativi e dissipativi. Sistemi reversibili e irreversibili. Sistemi a parametri concentrati e distribuiti. Stabilità e instabilità di regimi stazionari e dinamici. Sistemi lineari. Operatori di evoluzione. Condizioni di stabilità. Equivalenza topologica di sistemi dinamici. Stabilità strutturale. Definizione di biforcazione locale e globale. Sistemi non lineari e sistemi linearizzati. Autospazi stabili, instabili e centrali. Varietà stabili, instabili e centrali. Studio delle biforcazioni attraverso la teoria delle forme normali e del teorema delle varietà centrali. Principali biforcazioni dei sistemi continui e dei sistemi discreti. Vie al caos. Metodi numerici per l'analisi della dinamica dei sistemi. Metodi di continuazione per la costruzione dei diagrammi delle soluzioni di regime e dei diagrammi delle biforcazioni. Tutti gli

argomenti saranno illustrati attraverso l'analisi della dinamica di processi chimici con e senza sistemi di controllo; applicazioni a problemi di conduzione, messa in marcia, fermata e cambiamento di condizioni operative di apparecchiature e impianti dell'industria di processo.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prove scritte intercorso o prova scritta finale.

-----

**Insegnamento:** Termodinamica

<b>Modulo didattico</b>	<b>SSD</b>	<b>Af</b>	<b>Anno</b>	<b>CFU</b>
Termodinamica	ING-IND/24	b	I	4

<b>Modalità di insegnamento:</b> Lezione	<b>Ore impegno docente:</b> 24	<b>Ore impegno studente:</b> 68
<b>Modalità di insegnamento:</b> Esercitazione	<b>Ore impegno docente:</b> 16	<b>Ore impegno studente:</b> 32

**Obiettivi formativi:**

Fornire concetti e abilità, anche informatiche, relativamente ai processi termodinamici di sostanze pure e di miscele, agli equilibri tra fasi, anche per miscele non ideali, e agli equilibri chimici di reazione, anche in presenza di più fasi e di reazioni multiple.

**Contenuti:**

I gas reali e le equazioni di stato. L'equazione di Van der Waals ed il principio degli stati corrispondenti. Le tabelle degli scostamenti dalla idealità: fattore di compressibilità, scostamento entalpico e di energia interna, scostamento antropico. La fugacità e il coefficiente di fugacità. La derivazione di tutti gli scostamenti a partire dall'equazione di stato per il volume. Il funzionamento dei codici di calcolo. L'equazione fondamentale della termodinamica delle sostanze pure e le equazioni di Maxwell. L'estensione alle miscele di più componenti. Il potenziale chimico. L'espressione generale dell'equilibrio di reazione. Le reazioni eterogenee. Reazioni multiple. L'espressione generale dell'equilibrio di fase. Le miscele non ideali e l'attività. I coefficienti di attività. Azeotropi basso-bollenti e alto-bollenti. La condizione di azeotropo. Diagrammi di stato di miscele binarie. La parziale miscibilità. La dipendenza dalla temperatura. La curva binodale e la spinodale. La metastabilità. Diagrammi triangolari per miscele ternarie.

**Propedeuticità:** Nessuna.

**Prerequisiti:** Nessuno.

**Modalità di accertamento del profitto:** Prova scritta e orale.

**Calendario delle attività didattiche nell'a.a. 2006/2007**

**I ANNO**

<b>1° semestre</b>	<b>Inizio</b> 25 settembre 2006	<b>Termine</b> 16 Dicembre 2006
<b>Esami</b>	<b>Inizio</b> 18 Dicembre 2006	<b>Termine</b> 24 Febbraio 2007
<b>2° semestre</b>	<b>Inizio</b> 26 Febbraio 2007	<b>Termine</b> 09 Giugno 2007
<b>Esami</b>	<b>Inizio</b> 11 Giugno 2007	<b>Termine</b> 04 Agosto 2007
<b>Esami</b>	<b>Inizio</b> 20 Agosto 2007	<b>Termine</b> 29 Settembre 2007