

guide ai programmi dei corsi 1996/97



INGEGNERIA CHIMICA

**POLITECNICO
DI TORINO**

Le *Guide* sono predisposte sulla base dei testi forniti dai Consigli di settore e di corso di laurea.

I Facoltà di ingegneria

Preside: prof. Pietro Appendino

Corso di laurea

Presidente (coordinatore)

Ingegneria aeronautica	Prof. Gianfranco Chiocchia
Ingegneria per l'ambiente e il territorio	Prof. Antonio Di Molfetta
Ingegneria chimica	Prof. Vito Specchia
<i>Settore civile/edile:</i>	Prof. Giovanni Barla
Ingegneria civile	Prof. Giovanni Barla
Ingegneria edile	Prof. Secondino Coppo
Ingegneria elettrica	Prof. Alfredo Vagati
Ingegneria gestionale	Prof. Agostino Villa
<i>Settore dell'informazione:</i>	Prof. Paolo Prinetto
Ingegneria delle telecomunicazioni	Prof. Mario Pent
Ingegneria elettronica	Prof. Carlo Naldi
Ingegneria informatica	Prof. Paolo Prinetto
Ingegneria dei materiali	Prof. Carlo Gianoglio
Ingegneria meccanica	Prof. Rosolino Ippolito
Ingegneria nucleare	Prof. Evasio Lavagno

II Facoltà di ingegneria (sede di Vercelli)

Preside: prof. Antonio Gugliotta

Corso di laurea

Coordinatore

Ingegneria civile	Prof. Riccardo Nelva
Ingegneria elettronica	Prof. Luigi Ciminiera
Ingegneria meccanica	Prof. Maurizio Orlando

Edito a cura del SERVIZIO STUDENTI

Politecnico di Torino

Corso Duca degli Abruzzi 24 - 10129 Torino - Tel. 564.6250

Stampato nel mese di giugno 1996

CASA EDITRICE CELID, Via Lodi, 27 - Torino - Tel. 248.93.26

Libreria: C.so Duca degli Abruzzi, 24 - Torino - Tel. 540.875

SOMMARIO

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA	5
PROGRAMMI DEGLI INSEGNAMENTI OBBLIGATORI	11
PROGRAMMI DEGLI INSEGNAMENTI D'ORIENTAMENTO	67
INDICI ALFABETICI PER INSEGNAMENTO E PER DOCENTE	122

Le Guide ai programmi dei corsi di laurea in ingegneria. Scopo fondamentale dei presenti opuscoli è quello di orientare gli studenti nella scelta dei piani di studio. In un momento particolarmente arduo di riforma e di scelte di sviluppo dell'assetto universitario, gli studenti devono poter decidere con il massimo della chiarezza, per potersi adeguare alle innovazioni, ed eventualmente anno per anno farsi ragione e modificare le scelte a seguito delle più specifiche verifiche attitudinali.

Nel 1996/97 sono attivati a Torino tredici *corsi di laurea* (elenco alla pagina a fronte). Per permettere l'approfondimento di competenze metodologiche e di tecniche progettuali realizzative e di gestione in particolari campi, i corsi di laurea possono essere articolati in indirizzi ed orientamenti. Dell'*indirizzo* eventualmente seguito viene fatta menzione nel certificato di laurea, mentre gli *orientamenti* corrispondono a differenziazioni culturali, di cui invece non si fa menzione nel certificato di laurea; gli orientamenti vengono definiti annualmente dai competenti *Consigli dei corsi di laurea*, e ne viene data informazione ufficiale mediante il *Manifesto degli studi*. Nelle pagine di queste *Guide*, di ciascun corso di laurea viene data una breve descrizione, e viene illustrato il programma di attuazione degli orientamenti previsti per ogni indirizzo.

Gli insegnamenti. Il nuovo ordinamento didattico¹ prevede diversi tipi di insegnamenti, distinti in monodisciplinari, monodisciplinari a durata ridotta (nel seguito indicati come corsi ridotti), e integrati. Un *insegnamento monodisciplinare* è costituito da 80–120 ore di attività didattiche (lezioni, esercitazioni, laboratori, seminari ecc.) e corrisponde ad una unità didattica o annualità. Un *corso ridotto* è costituito da 40–60 ore di attività didattiche e corrisponde a mezza annualità. Un corso integrato è costituito da 80–120 ore di attività didattiche e corrisponde ad una annualità; esso è svolto – in moduli coordinati di almeno 20 ore ciascuno – da due o, al massimo, tre professori che fanno tutti parte della commissione d'esame.

Ogni corso di laurea corrisponde a 29 annualità complessive, ripartite, in ognuno dei cinque anni di corso, su due *periodi didattici* (detti anche impropriamente semestri); ogni periodo didattico è di durata pari ad almeno 13 settimane effettive di attività.

¹ Decreto Ministeriale del 22.05.1995, pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 166 del 18.07.1995.

Un'altra novità introdotta già dal DPR 20 maggio 1989² è costituita dal fatto che non sono prescritti specifici insegnamenti (almeno a livello nazionale) per il conseguimento della laurea in un determinato corso di laurea in Ingegneria, ma sono prescritti i numeri minimi di unità didattiche da scegliere in determinati raggruppamenti disciplinari consistenti in *gruppi*³ di discipline affini.

Ogni Consiglio di corso di laurea può adeguare annualmente il piano degli studi alle nuove esigenze richieste dal rapido evolversi delle conoscenze e degli sviluppi tecnologici. Perciò ogni anno i vari Consigli dei corsi di laurea stabiliscono gli insegnamenti ufficiali, obbligatori e non obbligatori, che costituiscono le singole annualità, e le norme per l'inserimento degli insegnamenti non obbligatori, eventualmente organizzati in orientamenti.

Tutte queste informazioni e norme vengono pubblicate ogni anno nella Guida dello Studente- *Manifesto degli Studi*.

Finalità e organizzazione didattica dei vari corsi di laurea. Le pagine di queste *Guide* illustrano per ognuno dei corsi di laurea attivati – ed eventualmente per ognuno dei rispettivi indirizzi attivati – le professionalità acquisibili dai laureati, nonché il concetto ispiratore dell'organizzazione didattica, fornendo tracce schematiche di articolazione delle discipline obbligatorie ed esemplificazioni relative ai corsi facoltativi, organicamente inquadrabili nei vari *curricula* accademici.

Ogni corso di laurea ha previsto l'organizzazione di tutti i corsi in periodi didattici. Per quanto concerne l'organizzazione didattica e l'attribuzione dei docenti agli insegnamenti, si segnala ancora che:

- alcuni corsi di laurea introducono già al terzo anno una scelta di corsi di indirizzo o di orientamento, che richiedono la formulazione di un'opzione fra le scelte segnalate: tali opzioni vanno esercitate all'atto dell'iscrizione;
- in relazione a talune difficoltà, che possono verificarsi all'atto dell'accorpamento di taluni CL per le discipline di carattere propedeutico (del primo e secondo anno), non è assicurata la corrispondenza dei docenti indicati con gli effettivi titolari di dette discipline. In alcuni casi, non essendo noto al momento della stampa delle *Guide*, il nome del docente è stato lasciato indeterminato ("Docente da nominare").

² Pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 186 del 10.08.1989.

³ Questi *gruppi* coincidono con quelli dei raggruppamenti concorsuali per i professori universitari.

Corso di laurea in Ingegneria chimica

Profilo professionale

Il corso di laurea in *Ingegneria chimica* costituisce una delle articolazioni dell'ingegneria industriale nella quale ben si configura dal punto di vista dello sviluppo professionale e della matrice tecnologica, pur distinguendosi per lo specifico approccio culturale.

L'afferenza al settore dell'ingegneria industriale, che riguarda essenzialmente lo sviluppo professionale, risulta dal complesso delle discipline di tipo sia scientifico sia tecnologico che costituiscono il bagaglio culturale dell'ingegnere chimico chiamato prevalentemente ad operare nell'industria di processo. A formare tale bagaglio contribuiscono apporti più consolidati derivanti dall'ingegneria strutturale, dalla tecnologia meccanica ed impiantistica ed altri più innovativi, legati all'elettronica, all'analisi dei sistemi ed alla economia industriale.

L'insieme di tali apporti costituisce il supporto di base del corso di laurea, con il quale si intendono fornire al laureato gli strumenti per la valutazione d'insieme dello sviluppo di un qualunque processo industriale. Su tale base si inserisce poi, caratterizzandola, uno specifico contributo proprio dell'ingegneria chimica. Esso consiste essenzialmente nella conoscenza dei meccanismi chimico-fisici, considerati dal punto di vista termodinamico, cinetico, e di trasporto che condizionano e regolano sia le trasformazioni naturali, sia i processi tecnologici. In questo senso, utilizzando la componente culturale specifica così individuata, è possibile per il laureato in ingegneria chimica affrontare criticamente procedimenti industriali di produzione e di trasformazione della materia, allo scopo di ottenere in modo ottimale prodotti di base, intermedi e sostanze chimiche particolari.

Nell'individuazione del profilo professionale dell'ingegnere chimico si è tenuto presente il fatto che la sua specificità non si esplica solo nella professionalità legata all'industria di processo chimico, ma anche nell'approccio a qualunque processo industriale analizzato nei suoi elementi fondamentali di trasformazione e di trasporto della materia. Si può affermare che questo approccio è una prerogativa dell'ingegnere chimico, in quanto connesso con una formazione specifica innestata su una struttura di base tecnico-scientifica di tipo industriale.

Per costruire il *curriculum* di studi dell'ingegnere chimico secondo le indicazioni sopra enunciate, vengono utilizzati differenti supporti didattici: la base di matematica, informatica di base, chimica, fisica, è comune a tutto il settore dell'ingegneria; successivamente viene introdotto un approccio comune al settore industriale costituito da corsi di meccanica, scienza delle costruzioni, elettrotecnica, elettronica, costruzione meccanica,

sviluppati al livello di preparazione generale e di individuazione dei principi fondamentali. Più in dettaglio è programmata invece la formazione nell'ambito specifico dell'ingegneria chimica, operando mediante lo sviluppo successivo di tematiche legate alla termodinamica ed alla cinetica applicata, ai fenomeni di trasporto, alla progettazione delle singole apparecchiature, alla definizione complessiva di impianto ed al suo controllo.

Accanto a tali aree culturali, realizzate mediante discipline basate su un approccio metodologico, sono presenti contributi più applicati, i quali, attraverso l'utilizzo degli strumenti in precedenza offerti, sono indirizzati a specifiche tecnologie. Si segnalano in particolare la chimica di processo, le modalità di contenimento dell'impatto ambientale, le tecnologie biochimiche ed alimentari, la tecnologia della produzione e del corretto utilizzo dei materiali.

La figura che emerge da questo profilo professionale è quella di uno specialista con ampie conoscenze di base, che può soddisfare le esigenze non solo dell'industria chimica, ma più in generale di ampi settori produttivi e terziari.

Insegnamenti obbligatori

L'insieme degli insegnamenti obbligatori, e cioè la somma degli insegnamenti comuni a tutti i corsi di laurea, di quelli comuni al settore industriale, e di quelli caratterizzanti l'ingegneria chimica, è stato costituito allo scopo di fornire una preparazione sia di base sia specifica tecnico-professionale congruente con le indicazioni del profilo professionale precedentemente esposte.

Gli insegnamenti di *Analisi matematica 1 e 2*, di *Geometria* e di *Fisica 1 e 2* concorrono alla formazione fisico-matematica di base. L'operazione di riordino ha tuttavia stimolato un'approfondita discussione sui programmi degli insegnamenti e ciò dovrebbe consentire, almeno negli insegnamenti del secondo anno, di poter veder inseriti contenuti particolarmente affini ai vari settori dell'ingegneria.

La preparazione di base è completata da un insegnamento di *Fondamenti di informatica*, in cui vengono fornite agli allievi nozioni introduttive sulla struttura di un elaboratore, sulla rappresentazione dell'informazione al suo interno e sui principali componenti *software* che costituiscono un sistema informatico, e da tre insegnamenti di chimica: *Chimica 1 e 2* e *Chimica organica* (gli ultimi due di tipo ridotto) che dovranno fornire agli allievi una preparazione culturale adeguata nell'area di lavoro più specifica del ramo di ingegneria prescelto.

La formazione di una cultura ingegneristica di tipo industriale, e non propriamente mirata all'area chimica, è affidata ad un insieme di insegnamenti particolarmente coerenti con il profilo professionale già tracciato. Ai tradizionali insegnamenti di *Scienza delle costruzioni*, *Elementi di meccanica teorica ed applicata* (che raccoglie, integrandoli, i contenuti della meccanica razionale e della meccanica applicata) e *Macchine* sono stati accostati quelli di *Applicazioni industriali elettriche* (in cui particolare spazio viene dato alle macchine elettriche, ai trasformatori ed ai quadri, ma anche agli impianti di terra ed alla normativa tecnica ed anti-infortunistica), di *Elettronica applicata*, di *Tecnologia dei materiali e chimica applicata* e di *Costruzione di macchine*. Quest'ultimo insegnamento è di tipo integrato ed accoglie parte dei contenuti dell'insegnamento di *Disegno tecnico industriale*, fornendo all'allievo non solo criteri di progettazione e costruzione delle macchine, ma anche nozioni in merito alle principali tecniche di rappresentazione di parti ed insiemi di impianto.

Agli insegnamenti di *Chimica industriale 1 e 2* è affidato il compito di formare la cultura processistica dell'allievo; il secondo insegnamento è di tipo integrato e deve contenere nozioni della disciplina di *Sicurezza e protezione ambientale nei processi chimici*, non potendosi disgiungere dallo studio del processo l'analisi della sua compatibilità ambientale interna (cioè relativa all'ambiente di lavoro) ed esterna.

Il blocco degli insegnamenti di principistica ed impiantistica chimica è costituito da cinque insegnamenti e precisamente *Termodinamica dell'ingegneria chimica* (integrato con nozioni di *Elettrochimica*), *Principi di ingegneria chimica 1 e 2* (il secondo integrato con nozioni di *Cinetica chimica applicata*) ed *Impianti chimici 1 e 2* (il secondo integrato con nozioni di *Ingegneria chimica ambientale*). A questi insegnamenti è affi-

dato il compito di preparare l'allievo alla progettazione delle singole apparecchiature e degli impianti chimici, nonché alla conduzione di questi ultimi.

Nel ripartire tra le varie discipline le nozioni indispensabili si è fatto ampio ricorso ad insegnamenti di tipo integrato in modo da affermare esplicitamente l'irrinunciabilità di alcune componenti culturali nella formazione dell'ingegnere chimico. In particolare le nozioni di *Ingegneria chimica ambientale* sono a loro volta di completamento a quelle di *Sicurezza e protezione ambientale nei processi chimici* e devono contribuire a formare nell'allievo quella sensibilità nei confronti del rispetto dell'ambiente che dovrà essere sempre presente nell'esercizio della professione.

L'insieme degli insegnamenti obbligatori è completato da quelli di *Metallurgia*, rivolto in particolare alla scelta dei materiali metallici ed alla conoscenza del loro comportamento in opera, di *Calcolo numerico*, utile, oltre a completare la preparazione matematica degli allievi ed ad aumentarne la familiarità con i mezzi di calcolo automatico, per fornire strumenti di lavoro nel campo del controllo e della modellistica, e di *Istituzioni di economia*, cui è devoluto il compito di fornire all'allievo le nozioni fondamentali di economia utili per l'esercizio della sua professione.

Il quadro didattico di insegnamenti obbligatori sopra delineato vincola rigidamente 25 annualità. Rimangono, per completare il *curriculum*, che è fissato in 29 annualità, 4 annualità che serviranno all'allievo per definire un orientamento tra quelli più avanti proposti.

Orientamenti

Gli orientamenti sono predisposti in modo da fornire all'allievo un significativo approfondimento in alcuni dei settori di maggior importanza dell'ingegneria chimica. Nella scelta dei settori si è voluto accostare ai classici raggruppamenti di insegnamenti di tipo processistico, impiantistico (entrambi integrati da insegnamenti dedicati alla difesa dell'ambiente) e metallurgico anche un raggruppamento dedicato al settore biochimico-alimentare, in fase di rapido sviluppo.

L'allievo dovrà inserire nel proprio piano degli studi 4 insegnamenti scelti in modo coordinato tra quelli dell'orientamento prescelto. I criteri per tale scelta vengono fissati dal Consiglio di Corso di Laurea.

Quadro didattico degli insegnamenti obbligatori

<i>Anno</i>	<i>1° periodo didattico</i>	<i>2° periodo didattico</i>
1	C0231 Analisi Matematica I C0621 Chimica I	C2300 Geometria C1901 Fisica I C2170 Fondamenti di Informatica
2	C0232 Analisi Matematica II C1902 Fisica II C0624 Chimica II (r) C0694 Chimica Organica (r)	C1660 Elementi di Meccanica Teorica Applicata C5570 Tecnologia dei Materiali e Chimica Applicata C0290 Applicazioni Industriali Elettriche
3	C5975 Termodinamica dell'Ingegneria Chimica/Elettrochimica (i) C4600 Scienza delle Costruzioni C0510 Calcolo Numerico	C3991 Principi di Ingegneria Chimica I C3420 Metallurgia C0661 Chimica Industriale I
4	C3995 Principi di Ingegneria Chimica II/Cinetica Chimica Applicata (i) C3110 Macchine W	C2601 Impianti Chimici I C3040 Istituzioni di Economia C0945 Costruzione di Macchine/Disegno Tecnico Industriale (i)
5	C2605 Impianti Chimici II/ Ingegneria Chimica Ambientale (i) C0665 Chimica Industriale II/ Sicurezza e Protez. Amb. nei Proc. Chimici (i) C1710 Elettronica Applicata T	X Y Z

(i) Corso Integrato.

(r) Corso Ridotto.

W, T, X, Y e Z indicano possibili collocazioni di insegnamenti di orientamento.

Insegnamenti di orientamento

A completamento delle annualità obbligatorie, lo studente deve prevedere quattro annualità fra quelle indicate nei seguenti orientamenti.

Orientamento Progettazione

W	1	C5850	Teoria dello sviluppo dei processi chimici
T	1	C3993	Principi di ingegneria chimica III
X	2	C4450	Reattori chimici
Y	2	C4170	Progettazione di apparecchiature dell'industria chimica
Z	2	C4170	Corrosione e protezione dei materiali metallici <i>oppure</i>
		C1300	Dinamica e controllo dei processi chimici <i>oppure</i>
		C5440	Tecnica della sicurezza ambientale

Orientamento Processi di Produzione

W	1	C5610	Tecnologia del petrolio e petrolchimica
T	1	C1680	Elettrochimica e tecnologie elettrochimiche <i>oppure</i>
		C4030	Processi biologici industriali <i>oppure</i>
		C5700	Tecnologie industriali (tessili)
X	2	C0590	Catalisi industriale <i>oppure</i>
		C4050	Processi di produzione di materiali macromolecolari
Y	2	C4070	Processi elettrochimici <i>oppure</i>
		C4080	Processi industriali della chimica fine
Z	2	C2610	Impianti chimici e processi dell'industria alimentare

Orientamento Impiantistico Ambientale

W	1	C2661	Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti I
T	1	C4030	Processi biologici industriali <i>oppure</i>
		C5850	Teoria dello sviluppo dei processi chimici
X	2	C2662	Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti II
Y	2	C4450	Reattori chimici
Z	2	C0910	Corrosione e protezione dei materiali metallici
		R1220	Dinamica degli inquinanti
		C5440	Tecnica della sicurezza ambientale

Orientamento Metallurgia e Materiali

W	1	C4630	Scienza e tecnologia dei materiali ceramici
T	1	C1700	Elettrometallurgia <i>oppure</i>
		C4780	Siderurgia
X	2	C3430	Metallurgia fisica
Y	2	C5710	Tecnologie metallurgiche
Z	2	C0910	Corrosione e protezione dei materiali metallici <i>oppure</i>
		E4682	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici II

Orientamento Biotecnologico ed Alimentare

W	1	C3980	Principi di ingegneria biochimica
T	1	C4030	Processi biologici industriali
X	2	C2590	Impianti biochimici
Y	2	C2610	Impianti chimici e processi dell'industria alimentare
Z	2	C2662	Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti II

Programmi degli insegnamenti obbligatori

C 023 1

Analisi matematica 1

Anno: periodo 1:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Luisella Caire

Il corso si propone di introdurre innanzitutto al linguaggio e al ragionamento matematico, fornendo, insieme alle basi dell'analisi delle funzioni reali di variabile reale (teoremi sulle funzioni continue e calcolo differenziale e integrale) una metodologia di lavoro che, partendo da una comprensione critica degli strumenti acquisiti, conduca, (attraverso riferimenti a problemi della fisica e dell'ingegneria) alla loro applicazione alle successive discipline tecnologiche.

REQUISITI

Sono richiesti i concetti fondamentali di algebra, di geometria elementare, di trigonometria e di calcolo dei logaritmi della scuola secondaria superiore.

PROGRAMMA

- Introduzione al linguaggio matematico. Inquadramento insiemistico di relazioni e funzioni. Numeri cardinali. Principio di induzione. Concetti di calcolo combinatorio. Insiemi numerici, in particolare numeri reali. Proprietà qualitative delle funzioni reali di variabile reale. [12 ore]
- Continuità in un punto e teoremi sulle funzioni continue; limiti e teoremi sui limiti; limiti di funzioni monotone. Confronto tra funzioni; infiniti e infinitesimi. Asintoti rettilinei. [16 ore]
- Successioni; Teorema di Bolzano-Weierstrass; funzione esponenziale. [6 ore]
- Proprietà globali delle funzioni continue: teorema degli zeri e applicazioni; continuità della funzione inversa. Teorema di Weierstrass; continuità uniforme. [6 ore]
- Derivata e differenziale; regole di derivazione; applicazioni allo studio della monotonia e degli estremi. [6 ore]
- Teoremi di Rolle e Lagrange, con applicazioni. Polinomi di Taylor: teoremi sul resto e applicazioni. Calcolo di polinomi di Taylor. Applicazione allo studio della convessità in un punto e dei flessi. Concetti sulla convessità su un intervallo. [12 ore]
- Primitive (integrale indefinito) per funzioni continue a tratti. Regole di integrazione. [6 ore]

- Integrale definito (di Riemann); classi di funzioni integrabili; media integrale; proprietà algebriche e disequazioni relative all'integrale definito. Funzione integrale: proprietà e teorema fondamentale del calcolo integrale. [6 ore]
- Integrali impropri e criteri di convergenza. [6 ore]
- Equazioni differenziali a variabili separabili, equazioni differenziali lineari del primo e secondo ordine. [4 ore]

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni seguiranno gli argomenti delle lezioni e potranno essere di due tipi: o svolte alla lavagna dal personale docente, o svolte ai rispettivi tavoli dagli allievi.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

A. Bacciotti, F. Ricci, *Analisi matematica 1*, Liguori (primo e secondo corso).

C.D. Pagani, S. Salsa, *Analisi matematica. Vol. 1*, Masson (terzo corso).

Testi ausiliari:

P. Boieri, G. Chiti, *Precorso di matematica*, Zanichelli.

A. Tabacco, D. Giublesi, *Temi svolti di Analisi matematica 1*, Levrotto & Bella.

ESAME

L'esame consiste in una prova scritta ed una prova orale. Il superamento della prova scritta è condizione necessaria per accedere alla prova orale. Per sostenere la prova scritta, gli studenti devono prenotarsi presso la segreteria didattica del Dipartimento. Maggiori dettagli sulle modalità di svolgimento delle prove saranno forniti all'inizio del corso.

C 023 2**Analisi matematica 2**

Anno: periodo 2:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Maria Mascarello

Il corso si propone di completare la formazione matematica di base dello studente, con particolare riferimento al calcolo differenziale e integrale in più variabili, alla risoluzione delle equazioni e dei sistemi differenziali e ai metodi di sviluppo in serie.

REQUISITI

Sono propedeutici i corsi di *Analisi matematica 1* e *Geometria*.

PROGRAMMA

Funzioni di più variabili. [4 ore lezione, 3 ore esercitazioni]

Nozioni di topologia negli spazi n -dimensionali. Limite. Continuità.

Calcolo differenziale per funzioni di più variabili. [7 ore lez., 7 ore es.]

Funzioni scalari: derivate parziali. Derivate direzionali. Differenziale; piano tangente.

Gradiente. Formula di Taylor. Matrice hessiana. Punti stazionari: loro classificazione.

Funzioni vettoriali: derivate parziali. Derivate direzionali. Matrice jacobiana. Differenziale. Derivazione di una funzione composta: regola della catena.

Calcolo differenziale su curve e superfici. [5 ore lez., 4 ore es.]

Curve. Superfici regolari nello spazio. Funzioni implicite e varietà. Massimi e minimi vincolati, moltiplicatori di Lagrange.

Integrali multipli. [10 ore lez., 12 ore es.]

Integrali multipli e loro trasformazioni nello spazio n -dimensionale. Primo teorema di Guldino. Cenni sugli integrali impropri. Funzioni definite mediante integrali, teorema di derivazione sotto il segno di integrale.

Integrali su curve e superfici. [8 ore lez., 6 ore es.]

Integrale curvilineo. Area di una superficie. Secondo teorema di Guldino. Superfici orientate. Integrale di flusso. Teorema della divergenza. Forma differenziale lineare. Integrale di linea di un campo. Teorema di Green. Teorema di Stokes. Forma differenziale esatta. Teorema fondamentale. Potenziale.

Serie numeriche e serie di funzioni. [10 ore lez., 4 ore es.]

Serie numeriche, generalità. Serie a termini positivi. Serie a termini di segno alterno. Assoluta convergenza. Serie negli spazi normati. Serie di funzioni; convergenza puntuale e assoluta, in media quadratica, uniforme. Teorema di Weierstrass. Teorema di integrazione e derivazione per serie.

Serie di Fourier. [6 ore lez., 2 ore es.]

Funzioni periodiche. Famiglie ortogonali di funzioni. Polinomi trigonometrici. Polinomio di Fourier di una funzione a quadrato integrabile. Serie di Fourier, sua convergenza in media quadratica. Identità di Parseval. Convergenza puntuale ed uniforme della serie di Fourier.

Serie di potenze. [8 ore lez., 6 ore es.]

Serie di potenze, raggio di convergenza. Sviluppo in serie di Taylor. Sviluppi notevoli. Funzioni definite mediante integrali non elementari. Applicazioni numeriche. Matrice esponenziale.

Sistemi di equazioni differenziali. [14 ore lez., 6 ore es.]

Sistemi di equazioni differenziali del primo ordine. Problema di Cauchy. Equazioni dif@PJL ENTER LANGUAGE = PCL

C 051 0**Calcolo numerico**

Anno: periodo 3:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Paola Baratella

Il corso ha lo scopo di illustrare i metodi numerici di base e le loro caratteristiche (condizioni di applicabilità, efficienza sia in termini di complessità computazionale che di occupazione di memoria) e di mettere gli studenti in grado di utilizzare librerie scientifiche (IMSL, NAG) per la risoluzione di problemi numerici.

REQUISITI

Analisi 1, Geometria, Fondamenti di informatica.

PROGRAMMA

Aritmetica, errori. [5 ore]

Rappresentazione dei numeri in un calcolatore. Errori di arrotondamento, operazioni di macchina. Cancellazione numerica. Condizionamento di un problema, stabilità di un algoritmo.

Sistemi lineari. [12 ore]

Metodo di eliminazione di Gauss. Decomposizione di Gauss e fattorizzazione LU. Determinazione matrice inversa. Metodi iterativi: Jacobi, Gauss-Seidel, SOR.

Autovalori di matrici. [8 ore]

Metodo delle potenze. Metodo delle potenze inverse. Trasformazioni di similitudine e trasformazioni di Householder. Cenni sul metodo QR.

Approssimazione di dati e di funzioni. [12 ore]

Interpolazione polinomiale: formule di Lagrange e di Newton. Interpolazione con funzioni polinomiali a tratti. Funzioni spline. Metodo dei minimi quadrati.

Equazioni non lineari. [4 ore]

Radici di equazioni non lineari: metodi di bisezione, secanti, tangenti; metodi iterativi in generale. Sistemi di equazioni non lineari: metodo di Newton e sue varianti; metodi iterativi in generale.

Calcolo di integrali. [6 ore]

Formule di quadratura di tipo interpolatorio: formule di Newton-Cotes e formule gaussiane. Formule composte. *Routines* automatiche.

Equazioni differenziali ordinarie. [12 ore]

Metodi *one-step* espliciti. Metodi Runge-Kutta. Metodi *multistep* lineari. Metodi di Adams. Convergenza e stabilità dei metodi numerici. Sistemi *stiff*.

Equazioni alle derivate parziali. [15 ore]

Caratteristiche. Classificazione delle equazioni quasi-lineari di ordine 2. Metodi alle differenze finite. Metodi dei residui pesati (collocazione, Galerkin). Elementi finiti.

ESERCITAZIONI

Vengono sottolineati, con esempi, aspetti particolarmente importanti degli argomenti trattati nelle lezioni, svolti esercizi che contribuiscono ad una miglior comprensione

della teoria e costruiti algoritmi di calcolo. Vengono infine proposte allo studente delle esercitazioni al calcolatore da svolgere a casa o presso i LAIB del Politecnico.

BIBLIOGRAFIA

G.Monegato, *Fondamenti di calcolo numerico*, Levrotto e Bella, Torino, 1990.

ESAME

1. È prevista, per i soli iscritti al corso, una prova scritta di metà semestre (15-20 dicembre). Il superamento di questa prova comporta l'esonero della corrispondente parte di programma, purchè l'esame finale sia sostenuto negli appelli n. 1,2,3. L'esame finale è solo orale.

Nel corso della prova non è ammessa la consultazione di testi.

L'eventuale ritiro durante la prova di esonero non comporta alcuna conseguenza.

2. Negli appelli previsti dal calendario l'esame è solo orale.

C 062 1

Chimica 1

Anno: periodo 1:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Giorgio Scavino

In questo corso ci si propone di illustrare le leggi fondamentali della chimica e di stabilire una stretta relazione tra queste e gli aspetti principali della chimica generale e applicata. A tale proposito nella parte finale del corso saranno presentati alcuni processi industriali che verranno discussi in modo critico in relazione ai principi fondamentali della chimica. Si ritiene inoltre indispensabile presentare alcuni aspetti della chimica organica. Nel corso delle esercitazioni saranno utilizzati i principi teorici per risolvere alcuni semplici problemi.

PROGRAMMA

La struttura dell'atomo e le leggi fondamentali della chimica. [12 ore]

Le leggi fondamentali della chimica. La struttura dell'atomo. Comportamento chimico degli elementi, tavola periodica, valenza e legami chimici, significato quantitativo di formule e reazioni.

Lo stato gassoso. [6 ore]

Leggi fondamentali dei gas ideali e reali. Vengono confrontati due approcci differenti allo studio del comportamento della materia: quello sperimentale e quello teorico (teoria cinetica dei gas).

Lo stato liquido e le soluzioni. [6 ore]

Proprietà dei liquidi e delle soluzioni. Modi di esprimere la concentrazione delle soluzioni. Proprietà colligative: pressione osmotica, conducibilità elettrica, ebullioscopia e crioscopia.

Stato solido. [6 ore]

I reticoli cristallini di Bravais. Il legame chimico nei solidi e le loro proprietà. Principali difetti reticolari. Diffrazione di raggi X. Diagrammi di stato e regola delle fasi.

Termochimica. [7 ore]

Primo e secondo principio della termodinamica. Tonalità termica delle reazioni chimiche e grandezze termodinamiche (entalpia, energia interna, lavoro). Entropia, energia libera e spontaneità delle trasformazioni chimiche e fisiche. Legge di Hess.

Cinetica. [5 ore]

Fattori che influenzano la velocità di reazione. Equazioni cinetiche per reazioni del primo e del secondo ordine. Energia di attivazione. Vengono confrontati aspetti cinetici e termodinamici nei processi chimici.

Equilibrio chimico. [8 ore]

Legge di azione di massa dedotta da considerazioni cinetiche. Principio di Le Châtelier. Equilibri in fase omogenea e eterogenea. Equilibri in soluzione: dissociazione di acidi e basi (pH), idrolisi, soluzioni tampone.

Elettrochimica. [7 ore]

I potenziali *standard* di riduzione e l'equazione di Nernst. Spontaneità delle reazioni di ossido-riduzione. Pile e celle elettrolitiche.

Chimica organica. [10 ore]

Idrocarburi saturi, insaturi e aromatici. Gruppi funzionali. Nomenclatura, struttura e reazioni chimiche dei composti organici. Reazioni di polimerizzazione.

Chimica descrittiva. [10 ore]

In questa parte del corso sono esaminate le caratteristiche comuni agli elementi di ciascun gruppo della tavola periodica. Alcuni elementi (H, O, Na, Al, C, N, S, Cl, Fe) sono trattati in modo più dettagliato, con riferimento ad alcuni processi industriali di preparazione.

ESERCITAZIONI

Per ciascuno degli argomenti elencati nel *Programma delle lezioni* sono presentati semplici problemi. Le esercitazioni intendono costituire per gli allievi un momento di revisione critica del processo di apprendimento.

BIBLIOGRAFIA

C. Brisi, V. Cirilli, *Chimica generale e inorganica*, Levrotto & Bella, Torino.

C. Brisi, *Esercizi di chimica*, Levrotto & Bella, Torino.

M. Montorsi, *Appunti di chimica organica*, CELID, Torino.

Materiale integrativo dattiloscritto darà reso disponibile durante il corso.

ESAME

L'esame si articola in due prove: una prova scritta (A) ed una prova orale (B). La prova A consiste nel rispondere a trenta *quiz* del tipo multiscelta, alcuni dei quali richiedono l'esecuzione di calcoli. La sufficienza conseguita nella prova A consente di accedere alla prova B. La prova orale è completamento di quella scritta e quindi prende le mosse dalle risposte fornite dall'esaminando in quest'ultima. Il superamento dell'esame comporta l'esito positivo di ciascuna delle due prove.

C 062 4**Chimica 2**

(Corso ridotto)

Anno: periodo 2:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 2+1+2 (ore settimanali)
23+12+15 (nell'intero periodo)

Docente: Franco Ferrero

Il corso intende stimolare gli allievi all'approfondimento della conoscenza della chimica generale ed inorganica, introducendoli nel contempo ai concetti basilari della chimica analitica che si ritengono fondamentali per la formazione dell'ingegnere chimico: l'aspetto qualitativo e quantitativo delle reazioni, l'equilibrio chimico, gli equilibri ionici in soluzione, i principi dell'analisi volumetrica, le misure potenziometriche, i principi delle separazioni e delle analisi cromatografiche, la valutazione dei dati analitici. L'aspetto applicativo si realizza nell'esecuzione di calcoli stechiometrici e soprattutto nelle esercitazioni di laboratorio, in cui gli allievi, singolarmente o a piccoli gruppi, si applicano in modo diretto all'esecuzione di analisi volumetriche, potenziometriche e cromatografiche.

REQUISITI

È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati nel corso di *Chimica 1*.

PROGRAMMA

Equilibri chimici in soluzione acquosa. [4 ore]

Aspetti cinetici e termodinamici, costante stechiometrica e termodinamica, fattori influenti sull'equilibrio, attività, forza ionica. Elettroliti, acidi e basi, autoprotolisi, forza degli acidi e delle basi. Bilanci di carica e di massa.

Equilibri acido - base. [5 ore]

pH di soluzioni di acidi forti e basi forti concentrate e diluite. Curve di titolazione acido forte - base forte. Indicatori acido-base. Equilibri relativi ad acidi e basi deboli, soluzioni tampone, curve di titolazione. Equilibri relativi ad acidi e basi polifunzionali, anfolti, curve di titolazione. Miscele acido debole - base debole.

Equilibri di ossido-riduzione. [5 ore]

Reazioni di ossido-riduzione, reazioni elettrodiche, celle elettrochimiche. Potenziali elettrodici, equazione di Nernst, potenziali *standard*, potenziali di cella. Calcolo di costanti di equilibrio, potenziali formali, diagrammi E / pH. Curve di titolazione, calcolo di potenziali al punto di equivalenza, indicatori.

Metodi potenziometrici. [2 ore]

Pile di concentrazione, elettrodi di riferimento ed elettrodi indicatori, elettrodo a vetro per la misura del pH, altri elettrodi a membrana, titolazioni potenziometriche.

Equilibri di solubilità. [3 ore]

Solubilità e prodotto di solubilità, ione comune ed equilibri competitivi, solubilità idrossidi, separazione di solfuri. Titolazioni di precipitazione e curve di titolazione.

Equilibri di complessazione. [2 ore]

Formazione di composti di coordinazione, complessanti inorganici, chelanti. Complessi con EDTA, curve di titolazione e indicatori.

Metodi cromatografici. [2 ore]

Classificazione, adsorbimento e ripartizione, teoria della cromatografia di eluizione, gascromatografia, altri tipi di separazioni.

Valutazione dei dati analitici. [2 ore]

Precisione ed accuratezza, errori sistematici e casuali, trattamento statistico, intervallo di confidenza, scarto dei dati, propagazione dell'errore, cifre significative.

ESERCITAZIONI [2 ore]

Calcoli di concentrazione. Problemi di volumetria di neutralizzazione.

Calcoli di pH per soluzioni di acidi e basi deboli, soluzioni tampone.

Calcoli di pH per soluzioni di acidi e basi polifunzionali, anfoliti e simili.

Calcoli su equilibri di ossido-riduzione. Problemi di volumetria di ossido-riduzione.

Calcoli su equilibri di solubilità, sulla precipitazione frazionata e su equilibri competitivi.

LABORATORIO [3 ore]

Le esercitazioni si effettuano con squadre a numero limitato di allievi, individualmente o in piccoli gruppi. I risultati di ogni esercitazione, elaborati statisticamente, vengono presentati in una relazione, che viene corretta e valutata. I giudizi su tali relazioni forniscono un voto in trentesimi di cui si tiene conto nella formulazione del voto di esame.

Titolazioni acido-base con indicatori e pH -metriche: costruzione curve di titolazione.

Titolazioni di ossido-riduzione con permanganato e potenziometriche con dicromato.

Titolazioni iodometriche e potenziometriche di precipitazione.

Separazione di ioni con resine scambiatrici e titolazioni complessometriche con EDTA.

Determinazioni gascromatografiche di miscele di sostanze organiche.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

F. Ferrero, M.P. Gaglia Prati, *Chimica 2 : lezioni ed esercizi* (in corso di pubblicazione).

Testi ausiliari:

G. Saini, E. Mentasti, *Fondamenti di chimica analitica : equilibri ionici e volumetria*, UTET, Torino, 1993

D. Skoog, D. West, *Chimica analitica*, 2. ed., SES, Napoli, 1987.

P. Michelin Lausarot, G.A. Vaglio, *Fondamenti di stechiometria*, Piccin, Padova, 1988.

ESAME

L'esame consta di una prova scritta, ripetuta ogni appello, e di una prova orale successiva. La prova scritta, valutata con voto in trentesimi, deve essere superata con esito positivo per poter accedere all'orale. Dei voti dello scritto e delle esercitazioni di laboratorio si tiene conto nella valutazione finale. Qualora la prova scritta si concluda con esito insoddisfacente può essere ripetuta nell'appello successivo, mentre l'orale deve essere sostenuto entro il termine della sessione in cui si è sostenuta la prova scritta.

C 066 1**Chimica industriale 1**

Anno: periodo 3:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+2 (ore settimanali)
70+28 (nell'intero periodo)

Docente: Giovanni Battista Saracco (collab.: Maurizio Onofrio)

Il corso è essenzialmente volto all'acquisizione dell'insieme dei concetti di tipo processistico ed ingegneristico attraverso i quali, dalla conoscenza dell'aspetto chimico di una tecnologia industriale, se ne può ottenere la realizzazione pratica. Vengono affrontati i principali aspetti termodinamici, cinetici ed in generale chimico-fisici di una reazione chimica. Si considerano le caratteristiche delle sostanze coinvolte nei processi chimici, le modalità di realizzazione di questi ultimi, i bilanci energetici e di materia ad essi connessi, le loro rese, la loro interferenza con l'ambiente (alla luce delle leggi vigenti e delle tecnologie disponibili per combattere l'inquinamento). Si illustrano quindi, secondo le prospettive sopra indicate i più importanti processi della chimica industriale organica.

PROGRAMMA

Linee di produzione ed aspetti economici nell'industria chimica; valutazione complessiva dei bilanci di materia ed energia in un processo chimico. [4 ore]

Fabbisogni idrici dell'industria. [2 ore]

Caratteristiche di impiego, in sicurezza, delle sostanze chimiche. [6 ore]

Cenni sulla vigente legislazione per combattere l'inquinamento di acqua, aria e suolo e sui processi di bonifica dei rifiuti idrici ed aeriformi e di trattamento dei rifiuti solidi. [8 ore]

Calcolo delle proprietà delle sostanze. [4 ore]

Aspetti termodinamici, termochimici e cinetici delle reazioni chimiche. Cinetica di reazione, catalizzatori e reattori chimici. [8 ore]

Dimensionamento di reattori continui e discontinui. [4 ore]

Trasferimento di calore in relazione ai livelli termici del processo chimico. [2 ore]

Principali reazioni di interesse industriale nelle sintesi organiche: idrogenazione, deidrogenazione, ossidazione, esterificazione, alchilazione, solfonazione, nitratura, amminazione, ossosintesi, alogenazione, polimerizzazione, ecc. [32 ore]

ESERCITAZIONI

Nelle esercitazioni vengono illustrati con esempi numerici i concetti di termodinamica e cinetica, nonché gli sviluppi di processo che formano oggetto delle lezioni.

BIBLIOGRAFIA

R. Rigamonti, *Chimica industriale*, CLUT.

G. Natta, I. Pasquon, *I principi fondamentali della chimica industriale*, CLUT.

G. Genon, M. Onofrio, *Esercitazioni di chimica industriale*, CLUT.

P.H. Groggins, *Unit process in organic synthesis*, McGraw-Hill (per approfondimenti).

ESAME

1. Scritto: risoluzione di un esercizio sui temi trattati nelle esercitazioni.
2. Orale: domande sul programma del corso.

C 066 5**Chimica industriale 2 + Sicurezza e protezione ambientale dei processi chimici**

(Corso integrato)

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)
75+25+10 (nell'intero periodo)

Docente: Norberto Piccinini (collab.: Italo Mazzarino, Guido Sassi)

Attraverso la descrizione ragionata dei principali processi industriali il corso di propone di fornire un quadro attuale delle linee di sviluppo dell'industria chimica. I processi scelti sono esaminati con l'intento di evidenziare come la disponibilità di materie prime, i fattori chimico-fisici e tecnologici, i criteri di sicurezza e l'impatto ambientale contribuiscono alla scelta ed influenzino i processi stessi e le scelte industriali.

REQUISITI

È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati nel corso di *Chimica industriale*.

Sicurezza ambientale nei processi chimici

Incidenti e rischi nell'industria chimica.

Evoluzione degli incidenti nelle attività industriali.

Pericolosità di prodotti e di reazioni chimiche:

tossicità delle sostanze chimiche, [6 ore]

reazioni di ossidazione ed esplosive. [8 ore]

Banche dati incidenti. Valutazione probabilistica dei rischi. [5 ore]

Identificazione degli eventi pericolosi. [10 ore]

Analisi storica. Metodi ad indici (Dow-ICI). Liste di controllo. Revisioni di sicurezza.

Analisi di operabilità. *Dot chart*. Analisi dei modi di guasto e degli effetti (FMEA).

Eventi esterni.

Evoluzione degli eventi pericolosi. [6 ore]

Diagramma delle sequenze incidentali. Albero dei guasti. Albero degli eventi. Diagramma logico cause – conseguenze.

Stima della frequenza di eventi pericolosi. [6 ore]

Risoluzione quantitativa di alberi logici (richiami di algebra logica). Analisi di congruenza e completezza. Insiemi minimi di taglio (MCS). Principi di affidabilità di componenti e sistemi. Risoluzione di alberi logici con programmi di calcolo. Analisi di sensitività. Dati affidabilistici.

Chimica industriale 2

Parte generale. [2 ore]

Scelte e criteri per la realizzazione dei processi chimici.

Parte speciale. [10 ore]

Liquefazione e frazionamento dell'aria: produzione di ossigeno ed azoto. Produzione di idrogeno e di gas di sintesi (idrogeno per via elettrolitica e da idrocarburi, conversione dell'ossido di carbonio, purificazione dei gas di sintesi).

Processi produttivi. [27 ore]

Ammoniaca. Acido nitrico. Zolfo ed acido solforico. Carbonato sodico. Cloro-soda. Acido cloridrico. Fosforo ed acido fosforico. Biossido di titanio. Produzione di fertilizzanti: azotati; fosfatici; potassici e complessi. Lavorazione del petrolio e suoi derivati. Il gas naturale. Elastomeri (gomma). Zucchero. Cellulosa e derivanti.

ESERCITAZIONI

Per una corretta comprensione del significato, uso e limiti delle differenti metodologie utilizzabili nelle valutazioni probabilistiche dei rischi, saranno iniziati in aula esercizi pratici su banali schemi d'impianto distribuiti dall'insegnante, che per carenza di tempo non potranno però essere completati seduta stante. Questi esercizi dovranno essere terminati a casa ed essere presentati in forma leggibile e chiara durante la lezione successiva.

Tali esercizi raccolti sistematicamente costituiranno un fascicolo da portare all'esame; per il loro svolgimento si consiglia gli allievi di riunirsi in piccoli gruppi (3-4 persone).

Un esercizio più credibile sarà sviluppato su uno schema di impianto reale fornito dal docente.

LABORATORIO

Saranno organizzate esperienze pratiche di esercitazioni antincendio da effettuarsi in un campo prova esterno al Politecnico.

BIBLIOGRAFIA

Parte del materiale didattico sarà messo a disposizione durante il corso.

N. Piccinini, *Affidabilità e sicurezza nell'industria chimica*, SCCFQIM, Barcellona, 1985.

D.A. Crowl, J.F. Louvar, *Chemical process safety*, Prentice Hall, 1990.

I. Pasquon, *Chimica industriale 1*, CLUP, Milano.

L. Berti [et al.], *Processi petroliferi e petrolchimici*, D'Anna, Firenze.

S. Messina, N. Piccinini, G. Zappellini, *Valutazione probabilistica di rischio*, 3ASI.

ESAME

L'esame, costituito da uno scritto e un orale, verte esclusivamente sul programma svolto a lezione, che pertanto può subire variazioni di anno in anno. Lo scritto è relativo solo alle applicazioni delle metodologie sull'analisi dei rischi (durata della prova: 3 ore; sono consultabili appunti, libri od esercizi svolti).

È previsto, a metà periodo didattico, un colloquio orale facoltativo il cui superamento comporta l'esonero di quanto sostenuto. L'esonero è valido esclusivamente per la prima sessione d'esami.

C 069 4**Chimica organica**

(Corso ridotto)

Anno: periodo 2:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4 (ore settimanali)
50 (nell'intero periodo)

Docente: Franco Ferrero

Il corso intende fornire agli allievi i fondamenti della chimica delle principali classi di composti organici: nomenclatura, struttura, proprietà fisiche e chimiche, fonti industriali, reazioni di preparazione e reazioni tipiche. Considerando inoltre la sua funzione propedeutica allo studio dei processi della chimica industriale organica, nel medesimo vengono illustrati gli aspetti di base dei vari tipi di reazioni: natura dei reagenti, intermedi, aspetti cinetici e termodinamici, meccanismi, stereochimica.

REQUISITI

È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati nel corso di *Chimica 1*.

PROGRAMMA*Struttura e proprietà delle molecole organiche.*

Caratteristiche dei vari tipi di legame, relazioni tra struttura e proprietà, orbitali molecolari, ibridazione, risonanza. [6 ore]

Isomeria strutturale. Stereoisomeria. Chiralità molecolare e attività ottica. Configurazione dell'atomo di carbonio chirale. Diastereomeri. Risoluzione delle miscele racemiche. Reazioni dei composti chirali. [4 ore]

Alcani. [6 ore]

Nomenclatura, isomeri, isomeri conformazionali, proprietà fisiche, fonti, metodi di preparazione, reazioni. Alogenazione radicalica. Cicloalcani.

Alcheni.

Nomenclatura, isomeria geometrica, stabilità, proprietà fisiche, fonti, metodi di preparazione, reazioni di eliminazione, carbocationi. Idrogenazione e reazioni di addizione elettrofila. Ossidrilazione ed epossidazione, scissione ossidativa, ossosintesi. Alogenazione per sostituzione radicalica, radicale alilico. [6 ore]

Dieni: struttura e stabilità, reazioni di addizione, carbocatione alilico. Polimerizzazione per addizione di insaturi vinilici e dieni. Caratteristiche di polimeri ed elastomeri. [3 ore]

Alchini. [2 ore]

Acetilene, struttura e proprietà, reazioni di addizione, idrogenazione, idratazione. Acidità e acetiluri.

Areni. [6 ore]

Benzene, struttura e stabilità, aromaticità, nomenclatura derivati. Reazioni di sostituzione elettrofila aromatica: meccanismo ed elettrofili, reattività ed orientamento nelle reazioni dei derivati monosostituiti e disostituiti del benzene. Sintesi derivati aromatici. Areni: fonti, metodi di preparazione, alogenazione ed ossidazione, radicale e carbocatione benzilico. Idrocarburi aromatici polinucleari.

Alogenoderivati. [3 ore]

Struttura, proprietà fisiche, metodi di preparazione. Reazioni di sostituzione nucleofila alchilica: meccanismi SN2 e SN1, stereochimica, reattività, nucleofilia e basicità reagenti. Reazioni di eliminazione E2 e E1, competitività con SN, fattori influenti. Alogenuri arilici e reazioni di SN arilica. Reazioni degli alogenuri di alchilmagnesio.

Alcoli, fenoli, eteri ed epossidi. [3 ore]

Alcoli: nomenclatura, tipi, struttura, proprietà fisiche, fonti e metodi di preparazione. Dioli e glicerina. Acidità e nucleofilia, reazioni di sostituzione, eliminazione, ossidazione. Fenoli: tipi, proprietà, metodi di preparazione, acidità, reazioni tipiche. Eteri: tipi, metodi di preparazione, proprietà fisiche e chimiche. Epossidi: metodi di preparazione e reazioni di apertura dell'anello.

Aldeidi e chetoni. [3 ore]

Nomenclatura, struttura, proprietà fisiche, metodi di preparazione. Reazioni di addizione nucleofila al carbonile. Reazioni di ossidazione e di riduzione. Condensazione aldolica e reazioni simili. Carboidrati: struttura, monosaccaridi, di- e polisaccaridi principali.

Acidi carbossilici. [2 ore]

Nomenclatura, tipi, proprietà fisiche, metodi di preparazione; acidità e reazioni tipiche. Derivati degli acidi e reazioni di sostituzione nucleofila acilica. Esteri: reazioni di preparazione e sostituzione. Poliammidi e poliesteri.

Ammine. [2 ore]

Nomenclatura, struttura, tipi, proprietà fisiche, metodi di preparazione, basicità e reazioni tipiche, metodi di preparazione. Sali di diazonio: reazioni di sostituzione e di copulazione.

ESERCITAZIONI

Risoluzione di problemi su nomenclatura, isomeria e processi di sintesi di composti organici specifici.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

C. Di Bello, *Principi di chimica organica*, Decibel, Zanichelli, Padova, 1993.

Testi ausiliari:

J. McMurry, *Fondamenti di chimica organica*, Zanichelli, Bologna, 1990.

G. Ruà, *Nomenclatura di chimica organica*, La Scientifica, Torino, 1990.

ESAME

L'esame consta di una prova scritta, ripetuta ogni appello, e di una prova orale successiva. La prova scritta, valutata con voto in trentesimi, deve essere superata con esito positivo per poter accedere all'orale. Del voto dello scritto si tiene conto nella valutazione finale. Qualora la prova scritta si concluda con esito insoddisfacente può essere ripetuta nell'appello successivo, mentre l'orale deve essere sostenuto entro il termine della sessione in cui si è sostenuta la prova scritta.

C 094 5**Costruzione di macchine +
Disegno tecnico industriale**

(Corso integrato)

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Giovanni Roccati (collab.: Luca Goglio)

Il corso intende fornire agli allievi gli elementi necessari per il calcolo e la verifica degli elementi meccanici e delle strutture degli impianti chimici nonché i concetti fondamentali sull'analisi matriciale ed un cenno sui calcoli strutturali agli elementi finiti. La parte integrante di *Disegno tecnico industriale* illustra le norme unificate per il disegno di elementi meccanici, tubi e caldarerie, considerando assonometrie, proiezioni ortogonali, sezioni, sistemi di collegamento mediante saldature, filettature, tolleranze dimensionali, di forma, criteri di quotatura e qualificazione delle lamiere.

REQUISITI

È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati nei corsi di *Scienza delle Costruzioni* ed *Elementi di meccanica teorica ed applicata*.

PROGRAMMA**Costruzione di macchine. [54 ore]**

- Richiami su: tensore delle sollecitazioni, tensore delle deformazioni; direzioni, tensioni, dilatazioni principali; relazioni di elasticità; ipotesi di tensione ideale. [6 ore]
- Fatica ed effetto di intaglio, legge del danno cumulativo, criteri di verifica dei cuscinetti a rotolamento. [6 ore]
- Recipienti a parete sottile (gusci) in stato di tensione membranale. [4 ore]
- Stato di sollecitazione piana assialsimmetrica, tubi spessi e collegamenti forzati. [4 ore]
- Piastre circolari inflesse caricate assialsimmetricamente. [4 ore]
- Effetti di bordo e sollecitazioni flessionali nei gusci sottili. [4 ore]
- Calcolo statico ed a fatica di collegamenti saldati e mediante bulloni. [6 ore]
- Meccanica della frattura, prove non distruttive ed estensimetria. [8 ore]
- Analisi matriciale delle strutture ed informazioni sui metodi di calcolo strutturale agli elementi finiti. [12 ore]

Disegno tecnico industriale. [18 ore]

- Informazioni generali: formati, tipi di linee, assonometrie e proiezioni ortogonali nei sistemi europeo e americano, sezioni. [4 ore]
- Collegamenti fissi con chiodature e saldature, smontabili mediante elementi filettati. [4 ore]
- Tolleranze dimensionali ed accoppiamenti con interferenza o con gioco, tolleranze di forma. [4 ore]

- Indicazioni generali per il disegno di caldarerie, tubazioni e recipienti in pressione; qualificazione delle lamiere e dei materiali in genere. [6 ore]

ESERCITAZIONI

Costruzione di macchine.

Esercizi sui singoli argomenti indicati nel programma delle lezioni. [26 ore]

Redazione relazione di verifica di un recipiente in pressione secondo norme ISPSL. [8 ore]

Esercitazioni di laboratorio su estensimetria e prove non distruttive. [2 ore]

Disegno tecnico industriale.

Schizzi e piccoli disegni di elementi meccanici, tubazioni e recipienti in pressione. [12 ore]

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

Costruzione di macchine: appunti predisposti dal docente ed appunti dalle lezioni.

Disegno tecnico industriale: appunti dalle lezioni.

Testi ausiliari:

O. Belluzzi, *Scienza delle costruzioni*, Zanichelli, Bologna, 1984.

Manuali vari di disegno tecnico.

ESAME.

Comprende:

1. una prima parte, consistente nella esecuzione di alcuni esercizi relativi a calcoli di verifica o semplice progetto di elementi meccanici o strutturali, ed una prova grafica (disegno in proiezioni quotate, nota l'assonometria, ovvero estrazione e quotatura di un particolare estratto da un disegno complessivo), il tempo a disposizione sarà normalmente di 4 ore (3+1);
2. una seconda parte, consistente in un colloquio sui vari argomenti illustrati nel corso. La valutazione finale sarà stabilita tenendo conto anche degli esercizi svolti e dei disegni eseguiti durante la frequenza del corso, che dovranno essere presentati dall'allievo alla commissione esaminatrice durante la prova orale.

C 166 0**Elementi di meccanica
teorica e applicata**

Anno: periodo 2:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)
76+44 (nell'intero periodo)

Docente: Nicolò D'Alfio

Il corso si propone di fornire agli studenti i principali elementi teorici e applicativi necessari per la conoscenza e l'identificazione dei sistemi meccanici fondamentali.

Nella prima parte del corso verranno esaminate ed applicate le leggi della cinematica e della dinamica dei corpi rigidi e dei meccanismi. Nella seconda verranno trattati: i fenomeni legati all'attrito; i componenti meccanici ad attrito; i componenti ed i sistemi di trasformazione e trasmissione del moto; i transistori negli accoppiamenti meccanici. Inoltre verranno date le nozioni di base per i sistemi oscillanti e per la lubrificazione.

I vari argomenti saranno trattati secondo un approccio di tipo elementare e con una metodologia prevalentemente grafica.

REQUISITI

Analisi 1, Fisica 1, Geometria.

PROGRAMMA

Cinematica. [18 ore]

Richiami di cinematica del punto, coordinate cartesiane e polari, vari tipi di moto. Rappresentazione vettoriale. Cinematica del corpo rigido, moto traslatorio rettilineo e circolare, moto rotatorio, moto piano generico. Equazione fondamentale della cinematica e teorema di Rivals. Centro di istantanea rotazione. Gradi di libertà, vincoli. Accoppiamenti cinematici tra corpi rigidi, accoppiamenti di forza: camme, ruote su strada. Cinematica dei moti relativi, accelerazione di Coriolis e composizione di moti. Applicazione grafica ai meccanismi e ai paranchi (pulegge, funi).

Dinamica. [20 ore]

Richiami sui sistemi equivalenti di forze, momento di una forza, coppia di forze. Tipi di forze: concentrate e distribuite, reazioni vincolari, forze sviluppate da elementi elastici, da smorzatori e da attuatori oleopneumatici, forze di contatto. Definizione di corpo libero. Condizioni di equilibrio di un sistema, statico o a regime, espresse in forma analitica e grafica. Forze di inerzia, coppie d'inerzia, riduzione delle azioni di inerzia, momenti principali di inerzia. Equazioni cardinali della dinamica e loro applicazioni. Lavoro ed energia, principio di conservazione dell'energia, potenza. Cenni sulla quantità di moto e sul momento della quantità di moto.

Attrito. [6 ore]

Attrito secco. Attrito radente, attrito al perno, condizioni di aderenza. Attrito volvente, condizioni di rotolamento. Potenze dissipate, rendimenti. Condizioni ottimali (limite dell'aderenza) per veicolo in partenza o in frenata.

Componenti meccanici ad attrito. [10 ore]

Contatti estesi, ipotesi dell'usura. Freni a pattino, freni a ceppi con teoria semplificata, freni a disco, accostamento rigido o libero degli elementi frenanti. Freni a nastro. Azioni frenanti e coppie frenanti. Frizioni piane assiali semplici e a dischi multipli, frizioni coniche, condizioni di innesto.

Sistemi di trasformazione e trasmissione del moto. [10 ore]

Ruote di frizione. Ruote dentate, rapporto di trasmissione, ingranaggi cilindrici a denti dritti ed elicoidali, ingranaggi conici, vite senza fine – ruota elicoidale. Forze scambiate e reazioni vincolari. Rotismi ordinari ed epicicloidali. Trasmissioni a cinghie piane e dentate. Vite–madrevite, forze scambiate con semplificazione dei cunei equivalenti e condizioni di irreversibilità del moto.

Transitori nei sistemi meccanici. [4 ore]

Accoppiamento diretto motore–carico, accoppiamento motore–carico con riduttore di velocità, accoppiamento motore–carico con innesto a frizione. Sistemi a regime periodico, irregolarità periodica, volani.

Vibrazioni lineari a un grado di libertà. [5 ore]

Vibrazioni libere, rigidità equivalente. Vibrazioni libere smorzate, decadimento logaritmico. Vibrazioni forzate, metodo dei vettori rotanti, fattore di amplificazione, risonanza. Accelerometro.

Supporti lubrificati. [3 ore]

Viscosità, teoria elementare della lubrificazione idrodinamica; pattini e supporti, cenni sulla lubrificazione idrostatica.

ESERCITAZIONI

Consistono nello svolgimento di esercizi relativi a quanto sviluppato nelle lezioni, con particolare riferimento alla risoluzione grafica. Durante le esercitazioni saranno forniti agli studenti degli esercizi da svolgere, la cui soluzione sarà presentata, di massima, la volta successiva. Gli esercizi verteranno su:

1. cinematica dei manovellismi, sistemi di sollevamento e sistemi meccanici; [12 ore]
2. equilibri statici, a regime e dinamici; [12 ore]
3. attrito radente, al perno, volvente; [6 ore]
4. freni e frizioni; [5 ore]
5. ruote dentate, rotismi, vite–madrevite; [4 ore]
6. transitori e sistemi a regime periodico; [3 ore]
7. vibrazioni lineari. [2 ore]

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

C. Ferraresi, T. Raparelli, *Appunti di meccanica applicata*, CLUT, Torino, 1992.

Testi ausiliari, per approfondimenti:

G. Jacazio, B. Piombo, *Meccanica applicata alle macchine. Vol. 1-2*, Levrotto & Bella, Torino, 1991-92.

J.M. Meriam, L.G. Kraige, *Engineering mechanics. Vol. 1-2*, SI version, Wiley, New York, 1987.

ESAME

In generale l'esame si svolge in forma orale sull'intero programma del corso (lezioni ed esercitazioni).

In particolare, gli allievi iscritti per la prima volta al corso possono usufruire di una prova scritta durante il corso (in maggio) e una prova orale.

La prova scritta, della durata di circa due ore, è da svolgere senza ausilio di testi o appunti e su fogli vidimati e distribuiti al momento stesso della prova. Essa prevede la risoluzione (grafica e/o analitica) di un certo numero di esercizi, di solito tre, sulla prima parte del programma riguardante: cinematica, equilibri, dinamica.

La prova scritta viene valutata in trentesimi; un risultato positivo (almeno 18/30) permette di sostenere la prova orale specificatamente sulla restante parte del programma.

Il voto finale risulta dalla media dei voti (entrambi positivi) ottenuti nelle due prove.

Il voto positivo della prova scritta rimane acquisito per sostenere la prova orale solo nelle sessioni B e C dell'AA in corso.

Per sostenere la prova orale o l'esame orale è obbligatoria l'iscrizione, almeno due giorni prima dell'appello, nell'apposito foglio esposto nella bacheca del dipartimento di Meccanica (IV piano).

C 171 0**Elettronica applicata**

Anno:periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Francesco Gregoretti

Il corso intende fornire i principi base dell'elettronica con particolare riferimento alle applicazioni dei dispositivi, dei componenti elettronici e dei sistemi elettronici soprattutto in relazione alle loro applicazioni in ambiente industriale.

REQUISITI

Le nozioni del corso di *Applicazioni industriali elettriche*.

PROGRAMMA

- Richiami di elettrotecnica di base; analisi di reti nel dominio del tempo e della frequenza; analisi di transistori.
- Componenti passivi ed attivi: concetto di modello elettrico; resistenze, induttanze, condensatori; diodi; transistori.
- Amplificatori: classificazione ed impiego; reazione positiva e negativa; amplificatori operazionali; oscillatori.
- Circuiti non lineari; applicazioni con diodi ed amplificatori operazionali.
- Alimentatori e regolatori.
- Acquisizione dati: definizione di conversione digitale/analogica ed analogica/digitale; convertitori A/D e D/A; *sample & hold*; sistemi di acquisizione dati.
- Elaboratori elettronici: cenni all'algebra di Boole, circuiti logici combinatori e sequenziali, famiglie logiche bipolari e MOS, organizzazione di un elaboratore, descrizione di una unità centrale integrata; cenni sui linguaggi e sui sistemi operativi.

ESERCITAZIONI E LABORATORI

Le esercitazioni riguardano l'approfondimento dei concetti definiti a lezione e portano al progetto di semplici circuiti esemplificativi.

BIBLIOGRAFIA

J. Millman, A. Grabel, *Microelectronics*, McGraw-Hill, 1987.

Indicazioni bibliografiche di testi di consultazione verranno fornite durante il corso.

C 190 1**Fisica 1**

Anno: periodo 1:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Elio Miraldi

Vengono trattati i concetti basilari per la comprensione e la risoluzione di semplici problemi di fisica classica (meccanica, elettrostatica, ottica geometrica) con particolare riferimento a quelli che si possono più comunemente presentare nelle applicazioni di tipo ingegneristico. Gli argomenti principali del corso sono: la teoria della misura e degli errori; la meccanica di una particella puntiforme; la meccanica dei sistemi di particelle, con un accenno al moto del corpo rigido ed alla fluidodinamica; la teoria della gravitazione universale; le oscillazioni meccaniche; l'elettrostatica nel vuoto; l'ottica geometrica.

REQUISITI

Gli elementi di calcolo differenziale sviluppati nel corso di *Analisi 1*.

PROGRAMMA*Misure*

Grandezze fisiche. Misurazioni. Grandezze fondamentali e derivate.

Equazioni dimensionali. Sistemi di misura e unità. Errori di misura.

Propagazione degli errori. Cenni di teoria dell'errore e metodo dei minimi quadrati.

Meccanica del punto

Vettori e scalari. Componenti. Vettori unitari. Cenni di calcolo vettoriale.

Moto rettilineo: posizione, velocità e accelerazione. Caduta libera.

Moti piani: posizione, velocità e accelerazione. Moto circolare uniforme.

Moto dei proiettili. moti relativi: velocità e accelerazione relative. Sistemi inerziali.

Forza e massa. Leggi di Newton. Applicazioni. Forze di attrito (radente e viscoso).

Moto circolare uniforme. Lavoro di una forza costante e di una forza variabile. Lavoro

di una forza elastica. Energia cinetica e teorema dell'energia cinetica. Potenza. principio di equivalenza. Lavoro ed energia potenziale. Forze conservative e non conservative.

Teorema di conservazione dell'energia meccanica. Conservazione dell'energia per un sistema di particelle.

Meccanica dei sistemi

Centro di massa. Quantità di moto di una particella e di un sistema di particelle. Conservazione della quantità di moto. Sistemi a massa variabile. Impulso e quantità di moto. Urti elastici e anelastici in una dimensione.

Cenni agli urti in due dimensioni. Sistema di riferimento del centro di massa. Moto rotatorio. Variabili rotazionali. Energia cinetica di rotazione.

Momento d'inerzia. Momento di una forza. Dinamica rotazionale del corpo rigido.

Rotolamento. Momento angolare. Seconda legge di Newton in forma angolare. Momento angolare di un sistema di particelle e di un corpo rigido in rotazione attorno a un asse fisso. Conservazione del momento angolare ed esempi. Centro di gravità. Equilibrio statico. Condizioni di equilibrio ed esempi.

Oscillazioni meccaniche

Oscillatore armonico semplice. Considerazioni energetiche. Moto armonico semplice e moto circolare uniforme. Moto armonico smorzato. Oscillazioni forzate e risonanza (cenni).

Fluidi

Densità e pressione. Principi di Pascal e Archimede. Linee di flusso ed equazione di continuità. Equazione di Bernoulli ed applicazioni.

Gravitazione

Legge della gravitazione universale. Energia potenziale gravitazionale. Campo e potenziale gravitazionale. Leggi di Keplero.

Elettrostatica

Legge di Coulomb. Conservazione della carica. Campo elettrico. Linee di forza. Campo elettrico di: una carica puntiforme; un dipolo elettrico; una distribuzione lineare di carica; un disco carico. Carica puntiforme e dipolo in un campo elettrico. Flusso del campo elettrico. Legge di Gauss. Conduttore carico isolato. Applicazioni della legge di Gauss. Energia potenziale elettrica. Potenziale elettrico. Campo elettrico e potenziale. Potenziale di: una carica puntiforme; un insieme di cariche puntiformi, un dipolo elettrico; una distribuzione continua di cariche. Superfici equipotenziali. Condensatori. Capacità elettrica. Calcolo della capacità. Condensatori in serie e in parallelo. Energia immagazzinata in un campo elettrico.

Ottica geometrica

Riflessione e rifrazione della luce. Specchi piani e sferici. Superfici rifrangenti sferiche. Lenti sottili.

ESERCITAZIONI

Impostazione, risoluzione e commento di semplici problemi di fisica relativi a tutti i principali argomenti trattati nelle lezioni.

LABORATORIO

1. Misurazione di spostamenti, velocità e accelerazione di gravità per un corpo in caduta libera.
2. Misurazione del periodo di oscillazione del pendolo semplice in funzione della lunghezza del filo e dell'ampiezza di oscillazione.
3. Misurazione dell'indice di rifrazione del vetro con il metodo del prisma in condizione di deviazione minima.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

R. Resnick, D. Halliday, D.S. Krane, *Fisica 1*, 4. ed., Ambrosiana, Milano, 1993.

D. Halliday, R. Resnick, D.S. Krane, *Fisica 2*, 4. ed., Ambrosiana, Milano, 1994 (solo per l'elettrostatica e l'ottica geometrica).

Testo ausiliario:

G. Lovera, B. Minetti, A. Pasquarelli, *Appunti di Fisica 1*, Levrotto & Bella, Torino, 1977.

ESAME

L'esame consta di una prova orale, che si svolge dopo che il docente ha acquisito vari elementi di giudizio sullo studente, fra cui l'esito di una prova scritta e le relazioni di laboratorio.

Lo scritto consta di norma di tre esercizi che ricoprono tutto l'arco della materia svolta nel corso.

Una volta svolto lo scritto, l'esame (orale) può essere sostenuto in qualunque appello a partire da quello in cui si è svolto lo scritto stesso, purché entro il maggio dell'anno immediatamente successivo. Superato tale tempo senza aver sostenuto l'orale con esito positivo, lo scritto deve essere comunque ripetuto. Lo scritto effettuato nel preappello di maggio vale solo per tale preappello.

La prova scritta rimane valida, nei limiti di tempo di cui al punto precedente, anche nel caso in cui la prova orale non venga superata.

Lo studente che, avendo svolto lo scritto, intende sostenere l'orale deve prenotarsi apponendo il proprio nome sui fogli disponibili presso il dipartimento di Fisica a partire da una settimana prima di ogni appello.

Lo statino deve essere presentato all'atto di sostenere l'esame orale.

Anno: periodo 2:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2+2 (ore settimanali)

Docente: Laura Trossi (collab.: Elena Tresso)

Scopo dei corsi di fisica è quello di dare una visione coerente ed unificata dei fenomeni fisici e dei metodi che ne permettono lo studio. Nella prima parte del corso vengono trattate le interazioni elettromagnetiche analizzate in termini di campi. Sono discusse le leggi fondamentali dell'elettromagnetismo (nel vuoto e nella materia) che si compendiano nelle equazioni di Maxwell. Particolare rilievo è dato allo studio dell'onda elettromagnetica, come estensione delle equazioni di Maxwell e dei fenomeni ondulatori, quali interferenza, diffrazione e polarizzazione. Viene fornita una breve introduzione alla meccanica quantistica, base per lo studio della struttura della materia. Sono analizzati i concetti base della termodinamica classica con alcuni cenni di termodinamica statistica.

REQUISITI

Conoscenza degli argomenti trattati nel corso di *Fisica I*.

PROGRAMMA

Campo elettrostatico in un dielettrico. [6 ore]

Trattazione macroscopica dei dielettrici isotropi. Trattazione microscopica: polarizzabilità elettronica di un gas. Polarizzabilità dei solidi: suscettività dielettrica come tensore. Condizioni al contorno per i vettori campo elettrico e spostamento elettrico.

Correnti elettriche in regime stazionario. [2 ore]

Legge di Ohm. Effetto Joule. Forza elettromotrice. Interpretazione microscopica della conduzione nei metalli.

Campo magnetico statico. [8 ore]

La forza di Lorentz. Moto di cariche in campi magnetici. Ciclotrone, spettrometro di massa, effetto Hall, esperimento di Thomson. Forze magnetiche su correnti. Galvanometro. Campi magnetici generati da correnti stazionarie. Interazioni fra correnti. Legge della circuitazione di Ampère. Potenziale vettore.

Proprietà magnetiche dei materiali. [4 ore]

Analogia tra dipoli elettrici e magnetici. Magnetizzazione. Descrizione macroscopica sostanze dia-, para-, ferromagnetiche.

Fenomeni induttivi. [8 ore]

Legge di Faraday – Lenz – Henry. Betatrone. Principio di conservazione della carica. Equazione di Ampère – Maxwell. Autoinduzione. Energia campo magnetico (circuito RL). Oscillazioni libere (circuito LC), oscillazioni (circuito RLC) libere e forzate. Reattanza e impedenza ricavate con metodo simbolico. Mutua induzione; trasformatore.

Onde. [2 ore]

Descrizione del moto ondulatorio, propagazione dell'onda in una corda.

Onde elettromagnetiche. [10 ore]

Equazioni di Maxwell, onde elettromagnetiche. Energia, intensità quantità di moto dell'onda e.m. Teorema di Poynting. Velocità di gruppo. Effetto Doppler.

Spettro elettromagnetico. La luce. Interazione onda elettromagnetica con la materia. Spettro di corpo nero, ipotesi di Plank. Quantizzazione dell'energia elettromagnetica: l'effetto fotoelettrico. Aspetto corpuscolare della radiazione elettromagnetica: l'effetto Compton.

Propagazione onde elettromagnetiche nella materia: dispersione (indice di rifrazione e costante dielettrica).

Ottica ondulatoria. [8 ore]

Interferenza di onde prodotte da due sorgenti. Coerenza. Interferenza da n sorgenti coerenti, da lamine. Onde stazionarie. Diffrazione: fenomeni di Fraunhofer da una fenditura. Potere risolutore. Reticolo di diffrazione e calcolo del suo potere risolutore.

Diffrazione da cristalli, di raggi X. Polarizzazione della luce. Sostanze dicroiche. Angolo di Brewster, attività ottica. Onda e.m. in mezzi anisotropi. Elissoide di Fresnel, lamina birifrangente.

Struttura della materia. [10 ore]

Proprietà ondulatorie della materia: diffrazione di elettroni. Relazione di de Broglie, Funzione d'onda. Equazione di Schrödinger. Principio di indeterminazione di Heisenberg. Livelli energetici di una particella carica in un potenziale "a scatola".

Principio di funzionamento del laser. [2 ore]

Termodinamica. [12 ore]

Definizione operativa di temperatura, termometro a gas. Definizione quantità di calore, calorimetro di Bunsen. Calori specifici. Trasformazioni termodinamiche., Equivalente meccanico delle caloria. Lavoro – calore. Primo principio. Gas perfetti: equazione di stato, equazione isoterma e adiabatica. Teoria cinetica dei gas. Secondo principio. Ciclo di Carnot. Teorema di Carnot. Scala termodinamica della temperatura. Teorema di Clausius. Entropia.

Termodinamica statistica.

Entropia e probabilità. Ripartizione statistica di Boltzmann. Distribuzione delle velocità. Funzione di partizione.

LABORATORIO

1. misura di resistenza con ponte di Wheatstone e di temperatura con sensore PT100;
2. studio delle oscillazioni forzate in un circuito RLC mediante uso di oscilloscopio e generatore di segnali, e simulazioni al calcolatore di transistori in circuiti RC e RLC;
3. misura di lunghezza d'onda della luce mediante reticolo di diffrazione e misura di indice di rifrazione mediante luce polarizzata e angolo di Brewster (con rivelatore a fotodiode);
4. misura della diffusività termica di un provino metallico.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

M. Alonso, E.J. Finn, *Elementi di fisica per l'università*. Vol. II, Masson, Milano.

R. Resnick, D. Halliday, *Fisica I*, Ed. Ambrosiana, Milano (per la parte di termodinamica).

Testi ausiliari:

Halliday, Resnick, Krane, *Fisica II*, Ed. Ambrosiana, Milano.

ESAME

1. L'esame consta di una prova orale, che si svolge dopo che il docente ha acquisito vari elementi di giudizio sullo studente, fra cui l'esito di una prova scritta e le relazioni di laboratorio.
2. Lo scritto consta di norma di tre esercizi che ricoprono tutto l'arco della materia sviluppata nelle esercitazioni.
3. L'esame (orale) può essere sostenuto in qualunque appello a partire da quello in cui si è svolto lo scritto stesso, purchè entro il gennaio dell'anno immediatamente successivo. Superato tale tempo senza aver sostenuto l'orale con esito favorevole lo scritto deve essere comunque ripetuto. Lo scritto nella prima metà di gennaio vale solo per quella sessione.
4. La prova scritta rimane valida, nei limiti di tempo di cui al punto precedente, anche nel caso in cui la prova orale non venga superata.
5. Lo studente che, avendo svolto lo scritto, intende sostenere l'orale deve prenotarsi apponendo il proprio nome sui fogli disponibili presso il Dipartimento di Fisica a partire da una settimana prima di ogni appello. Non occorre prenotarsi per lo scritto.
6. Lo statino deve essere presentato all'atto di sostenere l'esame orale.

C 217 0

Fondamenti di informatica

Anno: periodo 1:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2+2 (ore settimanali)

Docente: Maurizio Rebaudengo

Il corso intende presentare i fondamenti dell'informatica, con lo scopo di chiarirne i principi teorici per permettere una corretta valutazione delle possibilità applicative degli elaborati elettronici. Ci si prefigge inoltre di fare acquisire agli allievi una discreta "manualità" nell'uso degli elaboratori, attraverso l'impiego di strumenti di produttività individuali e di un linguaggio di programmazione. Il corso è propedeutico ai corsi specialistici di informatica; inoltre fornisce le basi per molti corsi di carattere matematico-fisico che richiedono l'uso del calcolatore per le esercitazioni e lo sviluppo di casi di studio.

REQUISITI

Non esiste nessuna propedeuticità specifica in termini di esami, ma è utile avere buone basi matematiche ed attitudine al ragionamento.

PROGRAMMA

Cenni storici [2 ore]

Evoluzione del calcolo automatico: breve storia dei calcolatori meccanici, elettromeccanici ed elettronici.

Codifica dell'informazione [10 ore]

Sistemi di numerazione (in particolare il sistema binario); numeri relativi (codifica in modulo e segno ed in complemento a due); numeri frazionari (problemi di approssimazione; codifica *fixed point* e *floating point*; lo *standard* IEEE-754); codifica BCD; operazioni aritmetiche in binario puro ed in complemento a due; errori di *overflow* e di *underflow*; informazioni non numeriche (codici binari, codice ASCII); protezione dell'informazione dagli errori casuali (codici a rivelazione ed a correzione d'errore).

Logica booleana [4 ore]

Variabili booleane, operatori logici (*and*, *or*, *not*, *exor*), tavola di verità, teoremi booleani, minimizzazione di espressioni logiche.

Tecnologia elettronica [4 ore]

Transistori, porte logiche, circuiti combinatori, *flip-flop*. Circuiti sequenziali, registri; tecnologie elettroniche (MOS, bipolari, circuiti integrati).

Architettura degli elaboratori elettronici [8 ore]

Unità di *input* (*buffer*, ADC; tastiera, *mouse*, *scanner*, tavoletta grafica); unità di *output* (*buffer*; video, stampanti, *plotter*); unità operativa (ALU, registri, *flag*); memoria (indirizzamento, RAM, ROM; *floppy disk*, *hard disk*, CD-ROM; nastri magnetici, QIC, DAT); unità di controllo (*program counter*, *instruction register*, esecuzione di un'istruzione)

Il software [4 ore]

Il sistema operativo (funzionalità; sistemi *batch*, *multitask*, *time-sharing*, *real-time*, *fault tolerant*); gli strumenti per lo sviluppo dei programmi (interprete, compilatore, *linker*,

librerie statiche e dinamiche, *debugger*, *profiler*); linguaggi di programmazione (codice macchina, linguaggio *assembler*, linguaggi ad alto livello).

Il sistema operativo MS-DOS [4 ore]

Organizzazione interna, interfaccia utente, *file* di comandi, istruzioni di configurazione.

Strumenti di produttività individuale [8 ore]

Elaborazione di testi e tabelle in formato elettronico; *database*.

Il linguaggio C [20 ore]

Tipi di dato, istruzioni di assegnazione, operazioni aritmetiche e logiche, istruzioni di controllo, sottoprogrammi e passaggio dei parametri, libreria di I/O, libreria matematica, *file* di testo.

Telematica [12 ore]

Tipologie di comunicazione (seriale, parallela; sincrona, asincrona; a commutazione di circuito e di pacchetto); reti di calcolatori (topologia a stella, ad anello ed a *bus*; LAN, MAN e WAN; esempi: lo *standard* IEEE 802.3, la rete Internet); strumenti di comunicazione in rete (posta elettronica, trasferimento di dati, terminale virtuale; il ciberspazio: *gopher*, *veronica*, *wais*, *www*); sistemi *client-server*.

ESERCITAZIONI

1. Codifica dell'informazione: conversioni tra basi diverse, codifica di numeri relativi e razionali, codifica di informazioni generiche, rivelazione e correzione di errori casuali; [2 ore]
2. operazioni aritmetiche: addizioni e sottrazioni in binario puro ed in complemento a due; [2 ore]
3. logica booleana: verifica di espressioni logiche, costruzione e minimizzazione di funzioni logiche; [2 ore]
4. architettura degli elaboratori elettronici: dimensionamento di componenti e calcolo di prestazioni; [2 ore]
5. *i personal computer* MS-DOS: configurazione *software* di un PC, scrittura di *file* di comandi; [4 ore]
6. programmazione in linguaggio C: interfacce a menù, applicazione di formule matematiche, riduzione di dati numerici, analisi di testi. [16 ore]

LABORATORIO

1. uso dei *personal computer* MS-DOS; [4 ore]
2. programmazione in linguaggio C; [14 ore]
3. uso di strumenti di produttività individuale; [4 ore]
4. uso di strumenti per la navigazione in rete. [2 ore]

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

Dispense delle lezioni ed esercitazioni (presso le cooperative del Politecnico).

P. Tosoratti, G. Collinassi, *Introduzione all'informatica*, Ambrosiana.

B. Kernigham, D. Ritchie. *Il linguaggio C*, Jackson.

Testo per approfondimenti:

Peter Bishop, *Informatica*, Jackson.

ESAME

L'esame si articola su due prove scritte (una di teoria ed una di programmazione) da superare entrambe nel medesimo appello. Il voto finale è la media aritmetica (arrotondata per eccesso) dei voti riportati nelle due prove scritte.

Per gli allievi regolari è prevista verso la fine di maggio una prova speciale di teoria che, in caso di superamento, esonera per un anno dalla relativa prova scritta permettendo così all'allievo di sostenere negli appelli successivi solo più la prova di programmazione. La prova di esonero resta valida anche in caso di insufficienza in una prova di programmazione. Nel caso che l'allievo si presenti ad una prova di teoria, il voto dell'eventuale prova di esonero viene automaticamente cancellato, indipendentemente dal risultato della prova di teoria.

Anno: periodo 1:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+3 (ore settimanali)
76+44 (nell'intero periodo)

Docente: Maria Teresa Rivolo

Il corso si propone di fornire una preparazione di base per lo studio di problemi geometrici nel piano e nello spazio e di problemi di algebra lineare.

REQUISITI

Nozioni propedeutiche: elementi di geometria euclidea e trigonometria, proprietà dei numeri reali, operazioni di derivazione e integrazione.

PROGRAMMA

Vettori del piano e dello spazio: operazioni, componenti, prodotto scalare, vettoriale, misto. [4-5 ore]

Numeri complessi: operazioni, rappresentazione trigonometrica, radici n -esime. [3-4 ore]

Polinomi ed equazioni algebriche in campo reale e complesso: radici, principio di identità. [12 ore]

Spazi vettoriali: proprietà elementari, sottospazi, somma e intersezione, dipendenza e indipendenza, basi e generatori, dimensione. [6-7 ore]

Matrici: operazioni, spazi di matrici, matrici simmetriche e antisimmetriche, matrici invertibili. [5-6 ore]

Applicazioni lineari: definizione, nucleo e immagine, suriettività, iniettività, applicazione inversa, applicazioni lineari e matrici, matrici simili e cambiamenti di base. [5-6 ore]

Sistemi lineari: compatibilità e teorema di Rouché-Capelli, metodi di risoluzione, sistemi ad incognite vettoriali, matrici inverse, determinanti e matrici. [7-8 ore]

Autovalori e autovettori: polinomio caratteristico, autospazi, endomorfismi semplici, diagonalizzazione. [5-6 ore]

Forma canonica di Jordan: matrici a blocchi, polinomio minimo e teorema di Cayley-Hamilton, sottospazi invarianti, endomorfismi nilpotenti, forma canonica di Jordan (senza dimostrazioni). [3-5 ore]

Cenni su equazioni e sistemi differenziali lineari. [3-4 ore]

Spazi con prodotto scalare e matrici simmetriche (cenni). [2-6 ore]

Coordinate cartesiane sulla retta e nel piano. Coordinate polari nel piano. [1 ora]

Rette e circonferenze nel piano. [1-3 ore]

Coniche in forma canonica e generale. [5-6 ore]

Coordinate cartesiane e polari nello spazio. [1-2 ore]

Rette e piani nello spazio. [5-6 ore]

Sfere e circonferenze. [2-3 ore]

Superfici nello spazio: coni, cilindri, superficie di rotazione. [5-6 ore]

Quadrice in forma canonica. Rette e piani tangenti a quadriche, quadriche rigate. [4-5 ore]

Curve nello spazio e curve piane. [1-2 ore]

Funzioni vettoriali di una variabile. [2-3 ore]

Curve regolari e biregolari: versori tangente, normale e binormale, piano osculatore, ascissa curvilinea, curvatura, torsione, cerchio osculatore, formule di Frénet. Elica circolare. [4-5 ore]

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni sono dedicate a esaminare e risolvere con varie tecniche esempi e problemi che scaturiscono dalle lezioni.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

S. Greco, P. Valabrega, *Lezioni di algebra lineare e geometria. Vol. I, II*, Levrotto & Bella, Torino, 1994.

Testi ausiliari:

A. Sanini, *Lezioni di geometria*, Levrotto & Bella, Torino, 1994.

S. Greco, P. Valabrega, *Esercizi risolti di algebra lineare, geometria analitica differenziale*, Levrotto & Bella, Torino, 1994.

G. Beccari, N. Catellani, D. Ferraris, D. Giublesi, M. Mascarello, *Esercizi di algebra lineare e di geometria analitica*, CELID, Torino, 1983.

E. Sernesi, *Geometria 1*, Bollati Boringhieri, Torino, 1990.

ESAME

L'esame si può sostenere con due modalità diverse:

A) Lo studente può sostenere due prove scritte, che si svolgono a metà e al termine del corso, durante le quali è vietato usare libri o appunti. La prima prova scritta è un *test* della durata di un'ora, a risposte multiple, riguardante l'algebra lineare e i numeri complessi; nella seconda prova scritta, della durata di un'ora e mezza, lo studente deve svolgere esercizi di geometria analitica piana e spaziale. Chi raggiunge complessivamente fra le due prove un punteggio maggiore di 15/30 può sostenere direttamente la prova orale in un qualunque appello di esami fra giugno e ottobre e presentarsi all'orale per un massimo di due volte, delle quali una negli appelli di giugno e luglio e una negli appelli di settembre e ottobre.

B) Lo studente che non raggiunga i 15/30 nei *test* (o non partecipi a questi) si presenterà all'esame, in uno degli appelli previsti dal calendario, per sostenere una prova scritta della durata di circa due ore, che consiste di esercizi e problemi sugli argomenti del corso, durante la quale è consentito consultare i testi. La prova orale sarà sostenuta nello stesso appello.

C 260 1**Impianti chimici 1**

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)
56+56 (nell'intero periodo)

Docente: Romualdo Conti (collab.: Fulvia Chiampo)

L'insegnamento fornisce i criteri di progettazione di alcuni gruppi di apparecchiature di frequente impiego nell'industria chimica, dedicando particolare attenzione al loro inserimento nell'impianto produttivo. Il dimensionamento delle apparecchiature viene pertanto completato da indicazioni su modalità di allacciamento, alimentazione, scarico, supportazione, ecc., anche in relazione a necessità di coibentazione ed a problemi di dilatazioni termiche.

REQUISITI

Sono propedeutici i corsi di *Principi di ingegneria chimica*.

PROGRAMMA

Apparecchiature per il trasferimento di calore.

1. Meccanismi di trasferimento del calore e principali correlazioni per il calcolo dei coefficienti di scambio termico (richiami). Criteri di progettazione e particolari costruttivi degli scambiatori a tubi coassiali ed a fascio tubiero. Normalizzazione e scelta dei materiali. Scambiatori a piastre ed altri tipi meno convenzionali. Condensatori. Dispositivi per il controllo termico dei reattori agitati e dei serbatoi. Collegamento delle apparecchiature con la centrale termica, disposizione e supportazione delle tubazioni, scaricatori di condensa, giunti di dilatazione, coibentazioni. [18 ore]

2. Criteri di progettazione e particolari costruttivi degli evaporatori. Termocompressione. Impianti di concentrazione a multipli effetti. [8 ore]

Apparecchiature per il trasferimento di materia. [9 ore]

Caratteristiche costruttive, parametri geometrici fondamentali e criteri di progettazione delle colonne di distillazione e delle colonne di assorbimento. Montaggio ed allacciamenti: risoluzione dei problemi connessi con le dilatazioni termiche. Lisciviatori.

Apparecchiature per il trasferimento simultaneo di calore e di materia.

1. La cristallizzazione: nucleazione primaria e secondaria, accrescimento dei cristalli; condizioni di metastabilità delle soluzioni sovrassature: individuazione delle condizioni operative ottimali in relazione al tipo di apparecchiatura. Geometrie interne dei cristallizzatori ed altri particolari costruttivi. Impianti di cristallizzazione. [4 ore]

2. L'essiccamento: umidità assoluta e relativa dell'aria, temperatura del bulbo umido, saturazione, entalpia dell'aria umida. Diagramma psicrometrico e descrizione delle principali modalità operative. Criteri di progettazione e particolari costruttivi dei principali tipi di essiccatori: a piani, a tamburo rotante, a letto fluidizzato, a spruzzo ed a superficie calda. [7 ore]

Apparecchi a letto fluidizzato. [4 ore]

Principi di fluidizzazione; impieghi dei letti fluidizzati in ingegneria chimica. Alimentazione del solido e del gas, recupero del solido, cicloni. Cenno ai letti fluidizzati trifasici.

Recipienti agitati meccanicamente. [6 ore]

Agitazione e miscelazione di sistemi omogenei ed eterogenei con particolare riferimento ai reattori agitati multifasici. Reattori solido-liquido: geometria degli apparecchi, tipi di agitatore, velocità minima dell'agitatore per la sospensione completa del solido, profili di concentrazione. Avviamento e riavviamento degli apparecchi. Reattori gas-liquido: geometria degli apparecchi, tipi di agitatore e di gorgogliatore, velocità minima dell'agitatore per la dispersione completa del gas. Scambio di calore e di materia nei reattori agitati multifasici.

ESERCITAZIONI

Consistono nello studio di fattibilità di un impianto chimico, basato sul progetto di massima delle apparecchiature principali e sulla successiva elaborazione di una proposta di disposizione e di allacciamento, corredata dai necessari disegni. L'esercitazione è svolta da squadre di 3-4 studenti, a ciascuna delle quali viene affidata documentazione, su processo ed apparecchiature, adeguata allo sviluppo dello studio. Nell'attività in aula gli studenti sono assistiti da un docente ogni 7-8 squadre.

BIBLIOGRAFIA

J.M. Coulson e J.F. Richardson, *Chemical engineering. Vol. 2, Unit operations*, Pergamon, Oxford, 1968.

E.E. Ludwig, *Applied process design for chemical and petrochemical plants*, Gulf Publ., Houston, 1977.

D.Q.Kern, *Process heat transfer*, McGraw-Hill, New York, 1950.

ESAME

Gli esami consistono in una prova orale il cui risultato viene integrato con quello dell'esercitazione svolta in aula (la cui validità è illimitata).

C 260 5

Impianti chimici 2 + Ingegneria chimica ambientale

(Corso integrato)

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)
72+48 (nell'intero periodo)

Docente: Vito Specchia (collab.: Giorgio Rovero, Guido Sassi, Guido Saracco)

Vengono illustrati i criteri necessari alla progettazione ed alla conduzione degli impianti dell'industria chimica. petrolchimica, biochimica, ecc., richiamando le conoscenze di ingegneria termotecnica meccanica, chimica ed ecologica. Sono pure esaminati tutti i servizi ausiliari che costituiscono una parte finanziariamente e funzionalmente molto importante dell'impianto industriale. Si tende inoltre a mettere in evidenza la saldatura fra l'indagine teorica e la realizzazione pratica.

REQUISITI

Principi di ingegneria chimica 1 e 2, Termodinamica dell'ingegneria chimica, Macchine, Impianti chimici 1.

PROGRAMMA**Impianti chimici 2**

Aspetti generali della progettazione di un impianto chimico: criteri di scelta e localizzazione degli impianti; articolazione del progetto e suoi elementi costitutivi; aspetti economici e parametri di redditività. [6 ore]

Servizi generali di stabilimento:

servizi energia, cogenerazione e reti di distribuzione; [8 ore]

servizio acque, acqua di raffreddamento, torri di raffreddamento a tiraggio naturale e a tiraggio meccanico; [4 ore]

servizio frigorifero: impianti meccanici e ad assorbimento; [3 ore]

servizio aria compressa e servizio del vuoto. [2 ore]

Servizi ausiliari di stabilimento: stoccaggio e immagazzinamento; raccolta scarichi fognari; servizio antincendio; raccolta e trattamento scarichi di emergenza. [7 ore]

Movimentazione dei solidi: trasportatori a nastro ed a coclea; vibrotrasportatori; elevatori a spirale e a tazze; trasporto pneumatico. [5 ore]

Trasporto dei fluidi: tubazioni, valvole e perdite di carico in flusso bifasico; [6 ore]

sollecitazioni termiche sulle tubazioni, compensatori di dilatazione, supporti ed appoggi; [4 ore]

coibentazione; [3 ore]

pompe; [4 ore]

compressori e pompe ad anello liquido. [3 ore]

Condizionamento degli ambienti. [2 ore]

Ingegneria chimica ambientale

Impianti di trattamento degli effluenti gassosi: impianti di abbattimento del particolato (separatori meccanici e lavatori ad umido); assorbitori; adsorbitori; inceneritori; abbattimento degli ossidi di zolfo e di azoto. [5 ore]

Impianti di trattamento degli effluenti liquidi: principali impianti di tipo biologico (ossidazione aerobica, nitrificazione-denitrificazione, digestione anaerobica) e chimico. [7 ore]

Trattamento dei fanghi: ispessimento; stabilizzazione; disidratazione; compostaggio; incenerimento. [3 ore]

ESERCITAZIONI

Vengono svolte a piccoli gruppi di lavoro due esercitazioni monografiche di progetto di impianti con stesura di relazione finale sui risultati di dimensionamento ottenuti. Gli elaborati vengono esaminati ed il giudizio risultante è utilizzato per integrare il giudizio finale di esame.

BIBLIOGRAFIA

Poichè gli argomenti trattati a lezione sono contenuti in più di un testo, si consiglia l'uso delle fotocopie messe a disposizione all'inizio delle lezioni, integrate con gli appunti presi durante le lezioni stesse. Quale testo di consultazione per l'acquisizione di dati chimico-fisici e di correlazioni utili per la progettazione degli impianti si consiglia l'uso del manuale:

J. Perry, *Chemical engineering handbook*, 6th ed., McGraw-Hill, London, 1984.

ESAME

L'esame consiste in una prova scritta ed in una prova orale; la seconda va sostenuta immediatamente dopo la prima. Durante la prova scritta non è consentito consultare alcun testo nè appunti (tutte le informazioni tecniche ed i dati necessari per lo svolgimento sono forniti nel testo d'esame). L'ammissione alla prova orale richiede il raggiungimento della sufficienza nella prova scritta. La prova orale consta di due distinte domande sugli argomenti sviluppati nel corso delle lezioni e delle esercitazioni. Il voto finale è pari alla media della valutazione sia dello scritto, sia delle due domande orali, integrata dal giudizio relativo allo svolgimento delle esercitazioni.

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 60+40 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Loretta Rosso

PROGRAMMA

Gli strumenti per l'analisi del sistema economico (indici, modelli, *input-output*, contabilità nazionale).

Cenni di storia dell'analisi economica; crescita e sviluppo dei sistemi economici.

Elementi di microeconomia: i comportamenti degli operatori; la formazione dei prezzi; l'impresa e le decisioni produttive; i mercati dei fattori produttivi; le forme di mercato: mercati concorrenziali e mercati non concorrenziali.

Elementi di macroeconomia: macroeconomia di piena occupazione; macroeconomia con disoccupazione; il ruolo dello Stato e la politica economica: teorie keynesiane e sviluppi recenti.

C 311 0**Macchine**

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)
78+52 (nell'intero periodo)

Docente: Matteo Andriano

Nel corso vengono esposti i principi termodinamici e fluidodinamici necessari ad una corretta comprensione del funzionamento delle macchine a fluido. Viene poi sviluppata l'analisi del funzionamento dei vari tipi di macchine (motrici ed operatrici) di più comune impiego, con l'approfondimento richiesto dall'obiettivo di preparare l'allievo ad essere, nella sua futura attività professionale, un utilizzatore attento ai vari aspetti, a quello energetico in particolare, sia nella scelta delle macchine, sia nel loro esercizio. A questo scopo viene dato lo spazio necessario ai problemi di scelta, di installazione, di regolazione, sia in sede di lezioni, sia in sede di esercitazioni, dove vengono esemplificate le necessarie calcolazioni. Nelle lezioni vengono sviluppati, i concetti, mentre nelle esercitazioni vengono eseguite applicazioni numeriche su casi concreti,

REQUISITI

Sono necessari i concetti di termodinamica contenuti nel corso di *Termodinamica dell'ingegneria chimica* o di *Fisica tecnica* (a seconda del corso di laurea), e di meccanica contenuti nel corso di *Elementi di meccanica teorica ed applicata*.

PROGRAMMA

Introduzione. Considerazioni generali sulle macchine motrici ed operatrici a fluido. Classificazioni. Richiami di termodinamica. Le turbomacchine: principi fluidodinamici e termodinamici. Studio delle trasformazioni ideali e reali nei condotti. [10 ore]

Cicli e schemi di impianti a vapore semplici e rigenerativi, ricupero per produzione di energia e calore, ad accumulo. [6 ore]

Le turbine; le turbine a vapore semplici e multiple, assiali e radiali; regolazione; problemi meccanici e costruttivi tipici; le tenute. La condensazione. Possibilità e mezzi. Condensatori. [14 ore]

Compressori di gas. I turbocompressori; studio dei funzionamenti e diagrammi caratteristici. Problemi di installazione; regolazione. I ventilatori. [12 ore]

I compressori volumetrici alternativi e rotativi; studio del funzionamento; regolazione; campo di impiego. [8 ore]

Le turbine a gas. Cicli termodinamici semplici e complessi. Organizzazione meccanica e regolazione. [8 ore]

Le macchine idrauliche. Cenno alle turbine. Le pompe centrifughe. Campi di impiego. Caratteristiche di funzionamento; problemi di scelta e di installazione. La cavitazione. Le pompe volumetriche; campi di impiego; problemi di installazione. [8 ore]

I motori alternativi a combustione interna. Cicli termodinamici. Studio del funzionamento dei motori ad accensione comandata e ad accensione per compressione. La combustione. La dosatura. Le combustioni anomale; le caratteristiche dei combustibili. La regolazione. [12 ore]

ESERCITAZIONI

Esercizi di richiamo dei concetti di termodinamica orientati problematiche delle macchine. Esempi di applicazione del Primo Principio alle trasformazioni di interesse.

Uso dei diagrammi termodinamici (Mollier); esercizi sugli ugelli condizioni subsoniche e in condizioni critiche con gas a vapore.

Bilanci di energia negli impianti a vapore, semplici, rigenerativi, a ricupero totale e parziale.

Esercizi sulle turbine assiali e radiali, semplici e multiple. Esercizi sulla regolazione degli impianti a vapore a condensazione ed a ricupero, e calcoli sui condensatori. Esercizi sui turbocompressori: utilizzazione dei concetti di similitudine; calcoli e scelte per la regolazione.

Esercizi sui compressori volumetrici alternativi e rotativi; calcoli e scelte per la regolazione.

Esercizi su cicli e impianti di turbine a gas: calcolo delle prestazioni in condizioni di progetto e di regolazione.

Esercizi sulle pompe: problemi di scelta, di installazione e di regolazione. Esempi di verifica delle condizioni di cavitazione (NPSH).

Esercizi sulle prestazioni dei motori a combustione interna; potenza e consumo specifico di vari tipi.

BIBLIOGRAFIA

A. Capetti, *Motori termici*, UTET, Torino.

A. Capetti, *Compressori di gas*, Levrotto & Bella, Torino, 1970.

A. Beccari, *Macchine*, CLUT, Torino, 1980.

A.E. Catania, *Complementi ed esercizi di macchine*, Levrotto & Bella, Torino, 1979.

ESAME

L'esame consiste in una prova scritta della durata di circa 2,5 ore e di una prova orale di circa 50 minuti. Nella prova scritta, durante la quale possono essere tenuti e consultati testi o appunti, viene richiesto lo svolgimento di tre esercizi riguardanti argomenti vari del corso trattati anche nelle esercitazioni. Il risultato della prova scritta non preclude l'orale. La prova scritta viene effettuata nel giorno e ora previsto nel calendario ufficiale degli appelli.

C 342 0**Metallurgia**

Anno: periodo 3:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)
75+20 (nell'intero periodo)

Docente: Bruno De Benedetti (collab.: Giovanni Maizza)

Il corso stabilisce criteri razionali di scelta e di controllo dei materiali metallici allo scopo di fornire uno strumento utile per la progettazione, costruzione e conduzione d'impianti chimici e meccanici.

Particolare attenzione viene dedicata all'integrazione dei materiali all'interno di un progetto generale che tenga conto dell'intero ciclo di vita dei prodotti, dedicando ampio spazio alle leghe ferrose ed ai problemi di interazione con l'ambiente in opera.

Le basi teoriche di metallurgia generale sono ritenute acquisite nei corsi precedenti di *Tecnologia dei materiali e chimica applicata* e *Termodinamica dell'ingegneria chimica*, mentre ci si prefigge lo scopo di supportare, tramite opportuni argomenti di collegamento, la *Scienza delle costruzioni* e la *Costruzione di macchine*.

PROGRAMMA

Processi di fabbricazione. [8 ore]

La descrizione delle tecniche di colata, deformazione plastica a caldo ed a freddo, lavorazione per asportazione di materiale è utilizzata per fornire le alternative in relazione al disegno dei pezzi.

Trattamenti termici massivi. [8 ore]

Modalità di esecuzione di ricottura, normalizzazione e bonifica e loro inserimento nel ciclo di fabbricazione in dipendenza delle esigenze di lavorabilità.

Trattamenti termici superficiali. [12 ore]

Tecnologia per l'esecuzione di cementazione, nitrurazione, carbonitrurazione, tempra ad induzione e caratteristiche che vengono impartite ai pezzi in relazione alle esigenze di resistenza ad usura, fatica, corrosione. Tecniche di riporto superficiale.

Classificazione degli acciai. [12 ore]

Acciai strutturali, per utensili, per cuscinetti, per valvole ed effetto comportato dagli elementi leganti. Ottimizzazione delle caratteristiche di saldabilità e lavorabilità.

Acciai inossidabili. [14 ore]

Descrizione degli acciai ferritici, austenitici, martensitici e bifasici. Metodiche di giunzione: sensibilizzazione durante la saldatura e leghe stabilizzate. Trattamenti di distensione. Stabilità dello stato di passivazione in relazione all'ambiente. Le principali forme di corrosione uniforme e localizzata.

Leghe da getto ferrose. [6 ore]

Ghise lamellari, sferoidali, nodulari e sistemi di modifica della matrice. Trattamenti di stabilizzazione dei getti. Tubi per reti di distribuzione gas, acqua.

Leghe da getto non-ferrose. [10 ore]

Caratteristiche resistenziali delle principali leghe di rame, alluminio, zinco, magnesio, piombo, titanio.

Leghe metalliche per impieghi particolari. [6 ore]

Materiali per applicazioni elettriche, magnetiche, aeronautiche, bioingegneristiche.

ESERCITAZIONI

Descrizione dei metodi di misura delle principali caratteristiche meccaniche. [4 ore]

Modalità di esecuzione di controlli non-distruttivi e distruttivi. [4 ore]

LABORATORIO

I laboratori riguarderanno lo svolgimento di prove specifiche sui materiali, [6 ore]

e di simulazione al calcolatore di alcuni trattamenti termici con l'ausilio di programmi specifici. [6 ore]

BIBLIOGRAFIA

Gli argomenti trattati nel corso sono sviluppati in:

A. Burdese, *Metallurgia e tecnologia dei materiali metallici*, UTET, Torino, 1992.

Per ulteriori approfondimenti si consiglia la consultazione del *Metals handbook* edito a cura dell'American Society for Metals (ASM).

ESAME

È previsto un solo accertamento finale tramite un colloquio orale. Il calendario viene stabilito in occasione di ogni appello in modo da favorire la massima flessibilità delle prove nel rispetto delle regole di Facoltà.

Anno: periodo 3:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 65+52+4 (nell'intero periodo)

Docente: Giancarlo Baldi

Il corso si propone di illustrare i fondamenti del trasporto di materia, energia e quantità di moto all'interno di una fase, sia per effetto di fenomeni molecolari, sia per effetto della turbolenza. Vengono poi affrontate le problematiche del trasporto tra due fasi e della cinetica del cambiamento di fase. Sono anche presentati i concetti fondamentali della fluidostatica.

REQUISITI

Termodinamica per l'ingegneria chimica, i corsi di analisi matematica.

PROGRAMMA

- Bilancio macroscopico di materia, energia e quantità di moto per sistemi aperti e con trasporto convettivo; richiami di termodinamica.
- *Fluidostatica*: la pressione come variabile scalare; variazione di pressione per forze di campo; variazione di pressione in sistemi multifasi; spinta su superfici.
- *Trasporto molecolare*: interpretazione dei fenomeni di trasporto per mezzo della teoria cinetica dei gas; equazioni costitutive per il trasporto di materia, calore e quantità di moto; cenni ai fluidi non newtoniani.
- *Trasporto di quantità di moto*: viscosità di liquidi e gas; equazione di continuità; equazione di variazione della quantità di moto; tensore degli sforzi; equazioni di Navier-Stokes e Eulero; strato limite.
- *Trasporto di energia*: conducibilità termica di gas, liquidi e solidi; equazione di variazione dell'energia in sistemi omogenei; equazioni di variazione dell'energia termica e meccanica; strato limite termico; convezione naturale.
- *Trasporto di materia*: diffusività in gas, liquidi e solidi porosi; moto d'insieme e moto diffusivo; equazione di variazione di materia per sistemi a due componenti; trattazione di problemi semplici di diffusione con e senza reazione chimica; cenni ai sistemi a multicomponenti.
- *Fenomenologia della turbolenza*: instabilità turbolenta; variabili fluttuanti; tensore degli sforzi di Reynolds; viscosità turbolenta; profili di velocità in tubi circolari; fattore di attrito e fattore di forma; velocità di caduta libera di un grave; equazioni di variazione di energia e materia in flusso turbolento; diffusività turbolenta.
- *Trasporto all'interfaccia*: coefficienti di scambio di proprietà; analogie tra i diversi trasporti di proprietà; ipotesi dell'equilibrio termodinamico all'interfaccia; scambio tra più fasi; resistenze in serie e resistenze controllanti.
- *Trasporto attraverso membrane*.
- *Cinetiche di cambiamento di fase*: evaporazione, condensazione, cristallizzazione.

ESERCITAZIONI

Consistono nell'applicazione alla risoluzione di problemi semplici dei concetti sviluppati a lezione.

LABORATORIO

Determinazione di perdite di carico per attrito in tubi e valvole.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

R.B. Bird [et al.], *Fenomeni di trasporto*, Ed. Ambrosiana, Milano, 1970.

Testo per approfondimenti:

F.P. Foraboschi, *Principi di ingegneria chimica*, UTET, 1973.

ESAME

L'esame consiste di una prova scritta e una prova orale, svolte nello stesso appello; possono accedere alla prova orale gli allievi che hanno avuto una valutazione di almeno 15/30 nella prova scritta.

C 399 5

Principi di ingegneria chimica 2 + Cinetica chimica applicata

(Corso integrato)

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)
72+40+8 (nell'intero periodo)

Docente: Silvio Sicardi

La prima parte del corso propone l'applicazione dei principi fondamentali di equilibrio termodinamico e bilanci di materia, energia e quantità di moto alla progettazione delle apparecchiature a stadi. La seconda parte del corso si prefigge di fornire le basi necessarie per il progetto dei reattori chimici.

PROGRAMMA

Principi di ingegneria chimica 2

Progetto di apparecchiature di separazione a stadi. [30 ore]

Richiami di equilibrio termodinamico; stadio di equilibrio, stadi multipli a correnti incrociate, in controcorrente, in controcorrente con riflusso. Applicazioni al progetto di operazioni chimiche: colonne di assorbimento e di distillazione a piatti, estrattori liquido-liquido, processi di lisciviazione ecc.

Cenni a condizioni di funzionamento non stazionario.

Modelli fluidodinamici. [6 ore]

Modelli di sistema perfettamente miscelato ed a pistone; applicazione al calcolo delle colonne di assorbimento a riempimento.

Cinetica chimica applicata

Reattori chimici ideali omogenei. [10 ore]

Reattori isotermi, non isotermi ed adiabatici con reazioni semplici e complesse.

Reattori chimici reali omogenei. [8 ore]

Curve distributive dei tempi di permanenza; modello della dispersione longitudinale e dei reattori miscelati in cascata; cenni a modellistiche più complesse per l'interpretazione della resa e selettività dei reattori reali. Micromiscelazione e segregazione.

Reattori chimici eterogenei. [10 ore]

Trasporto di materia in presenza di reazione chimica: modello del film fittizio, teoria della penetrazione; reazione chimica in sistemi eterogenei fluido-fluido e fluido-solido con catalizzatore.

Calcolo di assorbitori in presenza di reazione chimica. [4 ore]

Calcolo di reattori catalitici bifasici solido-fluido. [4 ore]

ESERCITAZIONI

Vengono svolti calcoli di progetto delle apparecchiature chimiche definite a lezione.

LABORATORIO

Vengono svolte due esercitazioni di 4 ore con squadre a numero limitato di studenti: entro la fine del semestre ogni squadra deve compilare una breve relazione riportando modalità operative e risultati ottenuti.

BIBLIOGRAFIA

G. Biardi, S. Pierucci, *Operazioni unitarie di impianti chimici*, CLUP, Milano.

K.K. Westerterp [et al.], *Chemical reactor design and operation*.

ESAME

È prevista una prova scritta di calcolo e progetto delle apparecchiature trattate nel corso delle esercitazioni; la prova deve essere superata per poter accedere all'esame orale.

C 460 0**Scienza delle costruzioni**

Anno: periodo 3:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4+2 (ore settimanali)

Docente: Franco Algostino (collab.: Giorgio Faraggiana, Guglielmo Guglielmi)

Il corso pone le basi per lo studio del corpo deformabile.

Imposta il problema del corpo elastico e presenta la soluzione del problema di Saint Venant. Vengono studiate principalmente strutture monodimensionali (travi e sistemi di travi. Si imposta il problema dell'instabilità e della non linearità, con trattazione della teoria di Eulero.

Oltre all'impostazione teorica ed analitica dei problemi strutturali, particolare riguardo viene dato alle soluzioni ottenute mediante procedimenti numerici.

REQUISITI

Statica nel piano e nello spazio, geometria delle aree, analisi matematica, calcolo numerico.

PROGRAMMA

Richiami di statica e geometria delle aree. [4 ore]

Analisi dello stato di deformazione. [4 ore]

Deduzione delle componenti del tensore di deformazione in un riferimento cartesiano ortogonale, deformazioni principali, equazioni di congruenza.

Analisi dello stato di tensione. [6 ore]

Equazioni indefinite di equilibrio, componenti del tensore di tensione in diverse direzioni, cerchi di Mohor, tensioni principali.

Equazione dei lavori virtuali. [6 ore]

Applicazione al corpo deformabile.

Leggi costitutive del materiale. [4 ore]

Il corpo elastico, la legge di Hooke, il corpo isotropo, tensioni ideali e limiti di resistenza.

Teoremi energetici. [4 ore]

Lavoro di deformazione, condizioni di minimo.

Il Solido di Saint Venant. [10 ore]

Definizione e impostazione generale del problema. Flessione deviata. Taglio: teoria approssimata. Torsione: sezione circolare, sezione cava e sezione sottile aperta.

Travi e travature. [8 ore]

Travature piane caricate nel loro piano e trasversalmente. Travature spaziali. Calcolo delle sollecitazioni degli spostamenti in travature isostatiche ed iperstatiche.

Fenomeni di instabilità. [4 ore]

l'asta caricata di punta, teoria di Eulero. L'asta oltre il limite elastico. Fenomeni del secondo ordine.

ESERCITAZIONI

1. Equilibrio di sistemi di forze. [2 ore]
2. Geometria delle aree. [2 ore]
3. Vincoli nel piano e nello spazio. [2 ore]
4. Travature reticolari piane. [4 ore]
5. Travature piane isostatiche grado di vincolo, reazioni vincolari, diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione, calcolo di spostamenti. [10 ore]
6. Travature piane iperstatiche. [10 ore]
7. Lenea elastica di travi diritte. [4 ore]
8. Flessione deviata: determinazione dell'asse neutro e delle tensioni. [4 ore]
9. Taglio: determinazione del centro di taglio. [4 ore]
10. Torsione: determinazione delle tensioni e della deformazione per sezione chiusa e aperta. [4 ore]
11. Instabilità: l'asta caricata di punta con diverse condizioni di vincolo in regime elastico e plastico. [4 ore]

LABORATORIO

1. Misura degli spostamenti in una trave. [1 ora]
2. Visita del laboratorio del dipartimento di Ingegneria strutturale. [1 ora]

BIBLIOGRAFIA

P. Cicala, *Scienza delle costruzioni, Vol. 1 e 2*, Levrotto & Bella, Torino.

G. Faraggiana, A.M. Sassi Perino, *Applicazioni di scienza delle costruzioni*, Levrotto & Bella, Torino.

ESAME

L'esame è articolato in una prova scritta e una prova orale.

A metà semestre viene effettuata una prova scritta che esonera dallo scritto d'esame.

C 557 0**Tecnologia dei materiali e
chimica applicata**

Anno: periodo 2:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)
75+25 (nell'intero periodo)

Docente: Pietro Appendino (collab.: Monica Ferraris)

Il corso si propone di rendere familiare agli allievi la funzione svolta dai materiali sia nella realizzazione dei processi chimici e degli impianti connessi, sia nel condizionare l'impiego e la scelta dei componenti. Oltre alle tecnologie di trattamento e produzione delle più comuni classi di materiali, quali acque, combustibili, materiali ceramici, materiali leganti, materiali metallici ferrosi e non ferrosi, materiali polimerici e compositi, verranno descritte le loro proprietà più significative correlandole con la loro microstruttura, con la presenza di difetti e con il comportamento in esercizio.

REQUISITI

È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati nel corso di *Chimica*.

PROGRAMMA*Acque.* [6 ore]

Approvvigionamento, consumi, interventi preliminari al loro utilizzo. Durezza delle acque e loro addolcimento. Demineralizzazione delle acque. Acque per usi potabili. Depurazione delle acque con metodi chimici, fisici e biologici.

Combustibili. [10 ore]

Poteri calorifici, volume e composizione dei fumi, temperatura teorica di combustione, temperatura di accensione, limiti di infiammabilità potenziale termico. Combustibili naturali: classificazione e riserve; combustibili solidi, combustibili liquidi; carburanti e propellenti; combustibili e inquinamento; combustibili gassosi naturali; processi di gassificazione di combustibili liquidi e solidi; lubrificanti.

Proprietà generali dei solidi. [8 ore]

Struttura cristallina regolare; siti interstiziali; soluzioni solide sostituzionali e interstiziali, ordinate e disordinate; fasi e composti intermedi. Difetti reticolari: vacanze, dislocazioni, difetti di superficie e di volume.

Diagrammi di stato binari. [8 ore]

Sistemi a completa miscibilità allo stato solido, sistemi con eutettici, peritettici, eutetoidi, peritetoidi, con fasi intermedie a fusione congruente e incongruente. Sistemi ternari.

Materiali ceramici. [8 ore]

Materiali ceramici tradizionali e innovativi per tecnologie avanzate. Materiali refrattari: refrattari acidi, basici e neutri.

Materiali leganti. [8 ore]

Leganti aerei: calce, gesso; leganti idraulici: cementi Portland, pozzolanico, siderurgico, alluminoso, calci idrauliche. Materiali vetrosi e vetroceramici.

Materiali ferrosi. [8 ore]

Elaborazione dei minerali di ferro, ghisa d'alto forno e sua conversione in acciaio; diagramma di stato ferro-cementite e ferro-grafite. Trattamenti termici sugli acciai: ricottura, normalizzazione, tempra e rinvenimento. Trattamenti superficiali; ghise grigie, sferoidali, malleabili, bianche.

Altri materiali metallici. [6 ore]

Alluminio e sue leghe da getto e da trattamento termomeccanico; rame e sue leghe; titanio e sue leghe; magnesio e sue leghe.

Materiali polimerici. [8 ore]

Termoplastici e termoindurenti; meccanismi di polimerizzazione, processi di polimerizzazione; additivi per materiali polimerici; proprietà dei materiali polimerici; siliconi; elastomeri.

Materiali compositi. [4 ore]

Proprietà generali; matrici e agenti rinforzanti; compositi a matrice polimerica, metallica, ceramica, vetrosa e vetroceramica.

ESERCITAZIONI

1. Calcoli sulla determinazione della durezza temporanea, permanente e totale e sul consumo di reattivi del tipo della calce-soda o del fosfato trisodico per abbattearla. [4 ore]
2. Calcoli sul potere calorifico superiore e inferiore dei combustibili, sulla composizione e volume dei fumi, sull'aria teorica di combustione, sulle perdite al camino e sul potenziale termico. [8 ore]
3. Calcoli sui moduli idraulico, calcareo, silicico, dei fondenti del cemento Portland e calcoli sulla sua composizione mineralogica. [3 ore]
4. Proprietà termiche dei materiali: coefficiente di dilatazione termica, conducibilità termica, resistenza agli sbalzi termici. [3 ore]
5. Proprietà meccaniche dei materiali: comportamento rispetto a sollecitazioni a trazione, a compressione, a fatica; durezza; fragilità e tenacità dei materiali; influenza della temperatura sulle proprietà. [6 ore]

LABORATORIO

I laboratori, con squadre a numero limitato di studenti, riguarderanno:

1. Prove di determinazione delle caratteristiche delle acque e di alcune proprietà di combustibili e lubrificanti. [2 ore]
2. Prove di determinazione di alcune proprietà meccaniche dei materiali. [2 ore]

BIBLIOGRAFIA

C. Brisi, *Chimica applicata*, Levrotto & Bella, Torino.

P. Appendino, C. Gianoglio, *Esercizi di chimica applicata*, CELID, 1989.

Appunti delle lezioni su alcuni argomenti relativi alle acque, sul problema dei carburanti e dell'inquinamento, sulla struttura regolare e difettiva dei solidi, sui materiali ceramici per tecnologie avanzate, sui materiali compositi.

ESAME

È prevista all'inizio di giugno una prova scritta della durata di due ore, da svolgere senza l'ausilio di testi o appunti, riguardante calcoli sulla durezza e sulla dolcificazione delle acque, calcoli sul potere calorifico, sul volume e composizione dei fumi, sulla temperatura teorica di combustione, sul potenziale termico dei combustibili, calcoli sui moduli e sulla composizione mineralogica del cemento Portland; descrizione e interpretazione di diagrammi di stato.

La prova dà luogo a una votazione in trentesimi e, qualora si concludesse con un esito insoddisfacente, potrà essere ripetuta verso la metà di giugno; essa esonera dal portare gli argomenti sopracitati fino alla prima sessione dell'AA successivo compresa.

C 597 5

Termodinamica dell'ingegneria chimica + Elettrochimica

(Corso integrato)

Anno: periodo 3:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)
75+30 (nell'intero periodo)

Docente: Mario Maja (collab.: Marco Vanni)

Il corso viene sviluppato con l'intento di dare agli allievi ingegneri chimici le basi concettuali necessarie per lo studio delle reazioni e dei processi chimici. Ad una trattazione generale della termodinamica verrà fatto seguire sia uno studio dettagliato delle condizioni di equilibrio dei sistemi chimici mono e plurifasici, sia il calcolo del lavoro delle reazioni chimiche ed elettrochimiche sia una discussione sulla conversione elettrochimica dell'energia.

REQUISITI

È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati nei corsi di *Chimica e Fisica*.

PROGRAMMA

Termodinamica generale. [10 ore]

Le leggi della termodinamica generale, le grandezze molari parziali, i potenziali termodinamici, le equazioni fondamentali (Gibbs, Helmholtz, Clapeyron), i bilanci energetici, le trasformazioni fondamentali, l'equilibrio chimico e l'equilibrio elettrochimico.

Termochimica. [4 ore]

La legge di Hess, i bilanci entalpici, calori di soluzione, calcolo completo del calore di reazione.

Sistemi omogenei quasi perfetti. [10 ore]

Il calcolo dell'entropia, del lavoro di una reazione e delle condizioni di equilibrio, le equazioni di van't Hoff, di Helmholtz e di Planck, gli equilibri bifasici, gli equilibri di membrana, l'equazione di Nernst ed il terzo principio.

Applicazioni a casi pratici. [7 ore]

Il calcolo del potere ossidante e riducente di una miscela gassosa, gli equilibri di clorurazione e solfatazione, il comportamento degli ossidi non stechiometrici, i diagrammi *H-S*, cicli termodinamici.

La termodinamica molecolare. [5 ore]

Richiami di statistica e quantistica chimica, l'interpretazione molecolare dei tre principi della termodinamica, i calori specifici.

Sistemi reali. [6 ore]

Il teorema del viriale, le principali equazioni di stato, la termodinamica dei sistemi reali, la fugacità e l'attività, le equazioni di Margules e Van Laar, i sistemi azeotropici.

Sistemi plurifasici. [6 ore]

La legge delle fasi, le regole per il tracciamento dei diagrammi di fase, diagrammi unari, binari, ternari e ad *n* componenti.

Sistemi dispersi. [8 ore]

La tensione superficiale, equilibrii meccanici tra fasi, la nucleazione, equilibrii chimici e legge dell'adsorbimento di Gibbs, l'adsorbimento fisico di gas su solidi, cenno alla teoria BET.

Le interfasi elettrizzate. [6 ore]

Richiami della teoria elementare degli elettroliti, cenni alla teoria di Debye-Hückel, fenomeni elettrocinetici, applicazioni delle misure di conducibilità, l'interfase solido-elettrolito.

Termodinamica elettrochimica. [8 ore]

I potenziali di elettrodo, loro misura, i potenziali di membrana, i potenziali di diffusione, i diagrammi $pH-V$, gli elettrodi ad ossidi non stechiometrici.

Conversione dell'energia. [6 ore]

I generatori primari e secondari, loro caratteristiche, elettrodi per generatori, le pile a combustibile.

ESERCITAZIONI

Verranno svolti, richiamando la teoria, esercizi di applicazione delle equazioni dedotte durante il corso e verranno assegnate tre esercitazioni di calcolo riguardanti:

1. Il bilancio energetico di un accumulatore Pb-acido.
2. La riduzione degli ossidi di ferro.
3. I diagrammi di stato per sistemi bifasici liquido-vapore nel caso di componenti ideali e reali.

BIBLIOGRAFIA

M. Maja, *Termodinamica per l'ingegneria chimica. Vol. I-V*, Levrotto & Bella, Torino.

P.W. Atkins, *Chimica fisica*, Zanichelli.

M.W. Zemansky, *Termodinamica per ingegneri*, Zanichelli.

ESAME

L'esame è costituito da una prova scritta e da una orale. La prova scritta è costituita da alcuni esercizi simili a quelli svolti durante le esercitazioni. Per essere ammessi alla prova orale è necessario avere superato quella scritta.

Programmi degli insegnamenti d'orientamento

C 059 0

Catalisi industriale

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6 (ore settimanali)
80+8 (nell'intero periodo)

Docente: Antonio Iannibello

La catalisi deve essere considerata una disciplina che coerentemente correla struttura chimica e reattività, cinetica chimica e fenomeni di trasporto.

Nei cicli di produzione di beni di largo consumo lo stadio catalitico rappresenta nella maggior parte dei casi la chiave di accesso all'efficienza della trasformazione chimica, che oggi si traduce anche in termini di difesa dell'ambiente.

Il corso si propone di fornire una esauriente introduzione alle problematiche associate a ricerca e sviluppo di processi catalitici "dal laboratorio all'impianto industriale". Vengono infine prese in esame le applicazioni industriali importanti inclusi i processi catalitici per l'abbattimento di emissioni nocive.

PROGRAMMA

Introduzione ai concetti di base. [8 ore]

Catalisi industriale. Definizioni. Termodinamica ed energetica, "cammini di reazione", generalità, classificazione e selezione dei catalizzatori.

Adsorbimento. [6 ore]

Caratterizzazione dei tipi di adsorbimento. Isotherme di adsorbimento fisico. Calore di adsorbimento. Modelli di isotherme di adsorbimento.

Velocità e modelli cinetici delle reazioni catalitiche eterogenee. [12 ore]

Correlazioni empiriche. Modelli cinetici formali: modello di Langmuir-Hinshelwood, modello di Rideal. Energia di attivazione apparente, dipendenza della velocità della reazione catalizzata eterogenea dalla temperatura. Alcuni usi e limitazioni dei modelli cinetici. Avvelenamento e periodo di induzione.

Preparazione e produzione di catalizzatori. [4 ore]

Generalità. Metodi di precipitazione, impregnazione. Supporti catalitici.

Caratterizzazione chimico-fisica della superficie solida. [12 ore]

Misura dell'area superficiale specifica. Area superficiale per chemiadsorbimento selettivo. Volume dei pori e loro distribuzione in funzione del raggio. Metodi strumentali di caratterizzazione.

Determinazione della funzionalità catalitica di una superficie solida. [10 ore]

Reattori di laboratorio: reattore a pulso, reattori *batch* e semi-*batch*, reattori tubolari integrali / differenziali, reattori con ricircolo esterno / interno (*gradientless reactors*), reattori a letto fluidizzato.

Distribuzione dei tempi di permanenza nei vari tipi di reattore. [10 ore]

Trasferimento di massa e di calore in catalisi eterogenea. Metodi sperimentali e criteri teorici per la determinazione dei regimi di reazione.

Scelta delle condizioni sperimentali nella misura dell'attività catalitica. [6 ore]

Test esplorativi e prove di ottimizzazione del catalizzatore.

Catalizzatori costituiti da metalli supportati. [14 ore]

Catalisi acida, zeoliti. Ossidazione catalitica. La catalisi nel controllo delle emissioni nocive dei processi di combustione. Catalisi omogenea, generalità. Catalisi enzimatica.

LABORATORIO

L'esercitazione si articolerà in due esperimenti:

1. determinazione della funzionalità catalitica di una superficie solida con l'impiego di un microreattore a pulso;
2. misura dell'attività catalitica di un catalizzatore acido nella reazione di disidratazione del propanolo-2.

BIBLIOGRAFIA

Appunti dalle lezioni del corso.

J. F. Le Page, *Applied heterogeneous catalysis*, Technip, Paris 1987.

C.N. Satterfield, *Heterogeneous catalysis in industrial practice*, McGraw-Hill, New York, 1991.

B.C. Gates, *Catalytic chemistry*, Wiley, New York, 1992.

G.A. Somorjai, *Introduction to surface chemistry and catalysis*, Wiley, 1994.

ESAME

È prevista una prova orale che si articolerà in domande su argomenti del programma. A discrezione del candidato l'esame orale sarà integrato dalla presentazione di una approfondita relazione scritta su temi di catalisi preventivamente (durante il corso) approvati dal docente.

C 091 0

Corrosione e protezione dei materiali metallici

Anno:periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+1 (ore settimanali)
70+10 (nell'intero periodo)

Docente: Mario Maja (collab.: Nerino Penazzi)

Il corso viene sviluppato con l'intento di dare agli allievi ingegneri le basi necessarie per discutere i processi di deterioramento dei materiali metallici provocati dalla corrosione e per scegliere i metodi di protezione e prevenzione più idonei. Verranno discussi sia i processi di corrosione a umido, sia quelli di corrosione a secco e la corrosione per correnti impresse. Vengono inoltre discussi i criteri di scelta dei materiali metallici.

REQUISITI

È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati nei corsi di *Chimica e Metallurgia*.

PROGRAMMA

Introduzione. [8 ore]

Corrosione ad umido ed a secco, reazioni caratteristiche, danni diretti ed indiretti, costi ed affidabilità, ambienti corrosivi, richiami sulle acque, curva di Tillman, il suolo come elettrolito, velocità della corrosione ed influenza del tempo.

Termodinamica elettrochimica. [8 ore]

Richiami sugli elettroliti, i potenziali di elettrodo, gli elettrodi di riferimento, misura dei potenziali, diagrammi $pH-V$ e loro lettura.

Cinetica elettrochimica. [10 ore]

La polarizzazione degli elettrodi, le curve di polarizzazione, le sovratensioni (ohmica, di attivazione, di diffusione), la legge di Tafel, il comportamento dinamico di un elettrodo e metodi di analisi delle sovratensioni, i fenomeni anodici e la passività dei metalli.

La isopolarizzazione dei metalli. [5 ore]

Le caratteristiche elettrochimiche delle principali reazioni che interessano la corrosione, il concetto di isopolarizzazione e di potenziale di corrosione, esempi pratici di sistemi reali.

Coppie galvaniche in CC. [6 ore]

Contatto tra differenti metalli in acqua marina, esempi di coppie galvaniche in *boiler*, tubazioni e reattori, l'inversione delle coppie galvaniche (Fe-Sn e Fe-Zn), grafitizzazione delle ghise.

La morfologia della corrosione. [12 ore]

Corrosione per vaiolatura, interstiziale, filiforme, intergranulare, sotto sforzo, per fatica, danneggiamento da idrogeno, corrosione atmosferica, biologica e nel suolo.

Materiali ed ambiente. [5 ore]

Comportamento dei principali acciai e delle leghe di rame e di zinco alla corrosione marina ed atmosferica.

Prevenzione e protezione. [6 ore]

Inibitori di corrosione (anodici e catodici), protezione catodica, rivestimenti metallici ed organici, criteri di progettazione.

Prove di corrosione. [5 ore]

Prove in camere a nebbia salina, prove elettrochimiche.

La corrosione a secco. [5 ore]

La teoria di Wagner, esempi caratteristici di ossidazione di metalli, corrosione lato fumi di caldaie e metodi di prevenzione.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni vengono svolte discutendo vari casi di corrosione raccolti nel corso degli anni dal laboratorio. Vengono altresì proiettate videocassette editate dalla National Association Corrosion Engineering e concernenti un corso di corrosione per ingegneri tenuto dalla associazione suddetta.

BIBLIOGRAFIA

G. Bianchi, F. Mazza, *Corrosione e protezione dei metalli*, Masson.

D.A. Jonnes, *Principles and prevention of corrosion*, McMillan.

R 122 0**Dinamica degli inquinanti**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali)

Docente: Giuseppe Genon

Il corso prende in esame, sia da un punto di vista fisico, sia di sua descrizione matematica, l'insieme dei fenomeni che interessano l'evoluzione di una qualunque sostanza, di origine industriale e non, la quale, immessa nell'ambiente naturale, ne modifichi le caratteristiche. Viene verificato l'impatto ambientale degli inquinanti di tipo chimico, con riferimento ai livelli di concentrazione ed alla persistenza nei vari comparti ambientali.

PROGRAMMA

- Generazione di inquinanti e fattori di emissione. [8 ore]
- Diffusione e trasporto di inquinanti aeriformi: modelli stocastici e modelli deterministici. [8 ore]
- Chimica e fotochimica della troposfera: irradiazione solare; cinetica e meccanismi di reazione. [4 ore]
- Fenomeno delle piogge acide, genesi e diffusione. [4 ore]
- Dinamica degli inquinanti immessi in corpi idrici fluenti: autodepurazione; bilancio dell'ossigeno; reazioni chimiche e biochimiche interessanti il carico organico. [6 ore]
- Meccanismi di eutrofizzazione e loro cause. [4 ore]
- Penetrazione di inquinanti in mezzi porosi e semipermeabili; trasporto verso le falde acquifere; reazioni con il terreno. [4 ore]
- Fenomeni di lisciviazione di rifiuti e sostanze residue immessi sul terreno. [4 ore]
- Mineralizzazione; decomposizione; processi legati al compostaggio e all'uso agricolo di sottoprodotti. [4 ore]
- Smaltimento diretto in mare; effetti accidentali; spandimenti. [3 ore]
- Diffusione e persistenza della radioattività. [4 ore]
- Bilanci globali per gli elementi, cicli degli elementi. [5 ore]

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni prevedono circa 10 ore di misure sperimentali, eseguite a gruppi, di fenomeni di inquinamento ambientale (qualità di corpi idrici, inquinanti aerotrasportati, terreni) e 15 ore di visite ad impianti tecnologici di trattamento.

BIBLIOGRAFIA

Durante le lezioni vengono forniti schemi e dati numerici di riferimento per gli argomenti trattati.

C 130 0**Dinamica e controllo dei processi chimici**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali)
54+26+4 (nell'intero periodo)

Docente: Marco Vanni

Il corso ha lo scopo di fornire all'allievo ingegnere i principi fondamentali necessari per affrontare i problemi di regolazione dei processi e degli impianti chimici. Il corso si rivolge sia all'ingegnere di processo che deve gestire l'impianto ed il suo sistema di regolazione, sia al progettista che deve essere in grado di analizzare un impianto esistente e modificare il sistema di controllo o di sviluppare il progetto fino alla stesura dello schema di marcia dell'impianto (P&ID). Gli aspetti di simulazione del processo e delle apparecchiature chimiche sono sviluppati nell'ottica del controllo del processo stesso, finalizzati alla scelta dei parametri ottimali del sistema di controllo o allo sviluppo di sistemi di controllo avanzati di tipi *feedforward* o inferenziale.

REQUISITI

Principi di ingegneria chimica 1 e 2. Poiché il corso è limitato alla teoria lineare del controllo, è richiesto essenzialmente di saper risolvere equazioni algebriche, oltre ad alcuni elementi di analisi relativi alle equazioni differenziali ordinarie a coefficienti costanti.

PROGRAMMA

Introduzione. [6 ore]

Obiettivi del controllo. Diagrammi a blocchi. Notazione P&ID.

Necessità di controllo di un impianto.

Componenti del sistema di controllo. Selezione di una valvola.

Simulazione e dinamica dei processi chimici. [12 ore]

Simulazione del comportamento statico e dinamico dei processi chimici.

Simulazione per il controllo. Linearizzazione, diagrammi a blocchi, trasformate di Laplace.

Funzioni di trasferimento e modelli *input-output*.

Comportamento dinamico di sistemi di ordine 1, 2 e superiore.

Analisi e progetto dei sistemi feedback. [14 ore]

Controllo *feedback* e comportamento dinamico dei sistemi *feedback*.

Effetto del controllo PID sulla dinamica dei sistemi *feedback*.

Analisi di stabilità dei sistemi *feedback*.

Progetto di controllori *feedback*. Criteri di prestazione, scelta del controllore, *tuning*.

Analisi della risposta in frequenza.

Progetto di controllori *feedback* con tecniche di risposta in frequenza.

Analisi e progetto di sistemi di controllo avanzati. [6 ore]

Compensazione del tempo morto. Sistemi con risposta inversa e sistemi a cicli multipli.

Feedforward e ratio control.

Controllo adattivo e deduttivo.

Progetto del sistema di controllo di un impianto. [16 ore]

Configurazioni MIMO. Interazione e disaccoppiamento.

Discussione di esempi applicativi relativi al controllo delle principali operazioni unitarie.

Tracciamento e lettura del P&ID per un caso reale.

ESERCITAZIONI [10 ore]

Scelta di una valvola. Caratteristiche del flusso di una valvola. Equazione di progetto.

Soluzione di equazioni differenziali con trasformate di Laplace. Esercizi su schemi.

Caratteristiche e prestazioni di sensori per misura di temperatura, portata, pressione, composizione, umidità, etc.

Tuning del controllore con la tecnica PRC.

Diagrammi di Bode e Nyquist per vari tipi di sistemi.

Tuning del controllore con tecniche in frequenza.

Conduzione di *test* sull'impianto per individuazione dei parametri di controllo ottimale.

LABORATORIO

Laboratorio informatico. [16 ore]

Utilizzando un codice di simulazione (CONSYD) gli studenti possono agevolmente analizzare il comportamento dinamico di sistemi al variare dei parametri caratteristici del sistema stesso e del controllore. Le esercitazioni iniziano al termine del secondo modulo e permettono agli studenti di applicare al termine di ogni settimana, attraverso lo studio del sistema di controllo di una semplice apparecchiatura, i concetti e le tecniche trattate nelle precedenti lezioni.

L'esercitazione viene condotta a piccoli gruppi e comporta lo studio dinamico del sistema con diversi tipi di controllo *feedback*, della sua stabilità, della risposta in frequenza e la scelta ottimale dei parametri del controllore. Al termine del corso dovrà essere presentata una relazione.

Sperimentale. [4 ore]

Valutazione sperimentale di PRC in un impianto.

[fatta salva la disponibilità del laboratorio e la disponibilità dei servizi]

BIBLIOGRAFIA

G. Stephanopoulos, *Chemical process control*, Prentice Hall, 1984.

F.G. Shinskey, *Process control systems. Applications*, McGraw-Hill, 1979.

Integrati da materiale fornito dal docente.

ESAME

Il superamento di una verifica intermedia al termine del secondo modulo esonera dalla scritto. La relazione presentata viene discussa in sede d'esame e concorre alla valutazione finale.

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)
72+10+30 (nell'intero periodo)

Docente: Paolo Spinelli

Il corso presenta gli aspetti dell'elettrochimica che sono di particolare interesse per l'ingegnere chimico, sia per i contenuti di tipo formativo, sia per le connessioni con importanti settori quali la produzione di energia, le tecnologie avanzate, i processi biologici, la corrosione. I concetti di base vengono sviluppati in funzione dell'utilizzazione tecnico scientifica dei metodi elettrochimici.

REQUISITI

È richiesta la conoscenza degli argomenti del corso di *Termodinamica dell'ingegneria chimica*.

PROGRAMMA

I sistemi elettrochimici. [4 ore]

Generatori elettrochimici (pile e accumulatori), elettrolizzatori, definizioni e convenzioni.

Stechiometria delle reazioni elettrochimiche. [6 ore]

Leggi di Faraday, bilancio energetico dei sistemi elettrochimici, rendimento di corrente e rendimento energetico, strumenti per la misura della quantità di elettricità.

Proprietà degli elettroliti. [12 ore]

Conducibilità degli elettroliti e sua misura, teoria di Arrhenius, teoria di Debye e Huckel, coefficienti di attività degli ioni, numeri di trasporto, elettroliti solidi.

Studio delle reazioni elettrochimiche. [12 ore]

Tensione di celle galvaniche e loro misura, potenziali di diffusione, potenziali di membrana ed elettrodi specifici per gli ioni, elettrodi reversibili semplici e multipli, elettrodo campione ed elettrodi di riferimento, diagrammi potenziale - pH.

Polarizzazione e cinetica dei processi elettrodi. [12 ore]

Elettrodi polarizzabili e corrente residua, doppio strato elettrico, curve caratteristiche corrente-tensione, sovratensione di barriera, di diffusione, di reazione, di cristallizzazione, corrente limite di diffusione, processi anodici, passivazione dei metalli e caratteristiche degli strati passivanti.

Potenziali misti. [8 ore]

Isopolarizzazione, elettrodi sede di più reazioni elettrochimiche, cenni di corrosione dei metalli.

Applicazioni analitiche. [8 ore]

Potenziometria e titolazioni potenziometriche, polarografia, cronopotenziometria, amperometria, coulombometria.

Cenni sulle principali applicazioni industriali. [10 ore]

Principi della raffinazione e della produzione elettrochimica dei metalli, cenni di galvanotecnica, cenni sulla lavorazione elettrochimica dei metalli, generatori elettrochimici, pile, accumulatori, pile a combustibile.

ESERCITAZIONI

Verranno svolti alcuni esempi di applicazione ed alcuni calcoli relativi ai potenziali di elettrodo, alle tensioni di celle con e senza trasporto, alle sovratensioni.

LABORATORIO

Misura dei potenziali di diffusione. Titolazioni potenziometriche. Polarografia. Polarizzazione degli elettrodi. Curve caratteristiche. Passivazione del Fe, Ni e Pb. Protezione catodica.

BIBLIOGRAFIA

G. Bianchi, T. Mussini, *Elettrochimica*, Tamburini Masson, Milano, 1976.

G. Kortum, *Trattato di elettrochimica*, Piccin, Padova, 1968.

C 170 0**Elettrometallurgia**

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali)
56+28 (nell'intero periodo)

Docente: Bruno De Benedetti (collab.: Giovanni Maizza)

Il corso ha lo scopo di fornire i principi impiantistici delle varie tecnologie metallurgiche che utilizzano elettricità come fonte energetica primaria. In tale ambito si porrà particolarmente l'accento sulle problematiche relative alla conduzione degli impianti.

Il corso si rivolge a studenti con sufficiente preparazione di base nell'ambito della metallurgia di processo e dell'elettrotecnica. Essendo un corso di tipo applicativo l'estensione degli argomenti potrà variare in modo significativo rispetto all'impegno previsto nel programma in dipendenza di opportuni aggiornamenti della tecnologia.

PROGRAMMA

- Trasformazione dell'energia elettrica in calore (per resistenza, per arco, per induzione) e relativo trasferimento alla carica metallica dei forni. Classificazione dei principali tipi di forni metallurgici. [10 ore]
- Acciaieria elettrica: descrizione dei flussi energetici e di materiale. Potenza attiva e reattiva, diagramma circolare del forno elettrico. Condizioni di marcia dei forni ad arco: fusione della carica, scorifica, affinazione, colata. Metallurgia in siviera con e senza apporto di energia, trattamenti sotto vuoto ed in gas inerte. Colata in lingottiera. Colata continua. *Stirring* elettromagnetico in siviera e in colata continua. Rifusione dei lingotti: in forno ad arco sotto vuoto o sotto scoria elettroconduttrice. [20 ore]
- Impiego dei principali forni elettrici ad induzione in fonderia. Ghisa: fusione di rottame, omogeneizzazione delle leghe provenienti dal cubilotto. [6 ore]
- Forni elettrolitici per la produzione di alluminio primario. Confronto energetico col ciclo di raffinazione dei rottami. [8 ore]
- Rassegna di processi particolari di interesse elettrometallurgico con particolare riguardo a: saldatura; processi a corrente costante e tensione costante, applicazioni alla saldatura dei principali materiali di interesse ingegneristico. Trattamenti termomeccanici utilizzando il riscaldamento induttivo. [12 ore]

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni integrano le lezioni fornendo approfondimenti relativi al dimensionamento ed alla verifica dei principali tipi di impianto.

BIBLIOGRAFIA

- L. Di Stasi, *Forni elettrici*, Patron, Bologna, 1976.
J.H. Brunklaus, *I forni industriali*, Tecniche ET, Milano, 1985.
H.B. Cary, *Modern welding technology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1979.

ESAME

È previsto un solo accertamento finale tramite un colloquio orale. Il calendario viene stabilito in occasione di ogni appello in modo da favorire la massima flessibilità delle prove nel rispetto delle regole di Facoltà.

C 259 0**Impianti biochimici**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali)
52+26 (nell'intero periodo)

Docente: Guido Sassi

Il corso si propone di preparare alla progettazione e allo sviluppo di macchine ed impianti che utilizzano materiale biologico, finalizzati alla produzione di composti chimici, farmaceutici, alimentari e finalizzati al controllo dell'inquinamento ambientale. Sono esaminati aspetti impiantistici e reattoristici delle biotecnologie; in tal senso il corso è complementare a quello di *Processi biologici industriali* ed indispensabile per un completo approccio alle problematiche ingegneristiche del settore.

REQUISITI

Impianti chimici 1 e 2.

PROGRAMMA

Richiami di biochimica. [6 ore]

Conservazione e stabilità delle colture biotecnologiche, modificazione genetica ad usi industriali, cinetiche enzimatiche e di crescita della biomassa, colture miste e substrati complessi; reperimento di ceppi industriali e verifica della loro funzionalità.

Bioreattori. [16 ore]

Fenomeni di trasporto e reologici nei reattori biochimici; bilanci di massa ed energetici; reattori non ideali; reattori agitati meccanicamente, pneumatici e sistemi statici; reattori a biomassa libera; reattori a biomassa immobilizzata ed inglobata: lotto fisso e fluidizzato; reattori a membrana; impianti aerobici ed anaerobici; tecniche di immobilizzazione di micro-organismi ed enzimi; conseguenze sulle cinetiche biologiche; progetto e costruzione dei fermentatori.

Impianti. [16 ore]

Sistemi e macchine per la preparazione dei brodi di coltura; la preparazione dell'acqua di processo; la preparazione dell'inoculo; sterilizzazione di flussi ed impianti: discontinua e continua, il problema del *biofouling*; *scale-up*: metodologie e tecniche; similitudini: cinetica, fluidodinamica, geometrica; strumenti e tecniche di misura; controllo: modelli e sistemi di regolazione; norme e regolamenti per la progettazione e l'esercizio degli impianti biotecnologici; la movimentazione dei materiali biologici.

Recupero di biomolecole. [10 ore]

Operazioni unitarie in processi biotecnologici: centrifugazione, filtrazione, ultrafiltrazione, estrazione liquido / liquido, scambio ionico, distillazione, osmosi inversa, liofilizzazione; stabilità termica; accorgimenti per la riduzione dei fenomeni di *shear stress*.

Trattamento degli effluenti. [4 ore]

Recupero di materia ed energia; barriere di confinamento e controllo; lo smaltimento della biomassa spenta.

ESERCITAZIONI

Vertono, in massima parte, sullo *scale-up* di un bioprocesso.

BIBLIOGRAFIA

J.E. Bailey, D.F. Ollis, *Biochemical engineering fundamentals*, McGraw-Hill, 1986.

M.Moo Young, *Comprehensive biotechnology. Vol. 2, Engineering considerations*, Pergamon, 1983.

Ghester, Oldshue, *Biotechnology processes : scale-up and mixing*, Am. Inst. Chem. Engineers, 1987.

C 261 0**Impianti chimici e processi
dell'industria alimentare**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)
48+64 (nell'intero periodo)

Docente: Romualdo Conti (collab.: Fulvia Chiampo)

Il corso prende in esame alcune delle più importanti tecnologie dell'industria agroalimentare, evidenziando per i diversi processi produttivi le fasi riconducibili ad operazioni unitarie dell'ingegneria chimica, fornendo elementi di progettazione dei relativi impianti ed illustrando le problematiche connesse con la realizzazione e la gestione degli impianti nel loro insieme. Attenzione viene anche dedicata alla contaminazione chimica degli alimenti ed alla loro conservazione, eventualmente mediante l'uso di additivi chimici.

REQUISITI

Possono essere ritenuti propedeutici i corsi di *Chimica organica*, *Principi di ingegneria chimica* ed *Impianti chimici*, tuttavia l'insieme delle nozioni acquisite nei primi quattro anni consente di seguire proficuamente il corso anche agli allievi dei corsi di laurea in Ingegneria per l'ambiente e il territorio (Indirizzo Ambiente) ed in Ingegneria meccanica (in questo caso è opportuno un incontro preventivo con il docente).

PROGRAMMA*Industria olearia.* [12 ore]

Composizione dell'oliva e dell'olio di oliva: classificazione. Impianti per l'estrazione dell'olio di oliva. Impianti per la rettifica dell'olio di oliva. Composizione dei principali semi e degli oli da essi estraibili; legislazione. Impianti per l'estrazione degli oli di semi. Impianti per la rettifica degli oli di semi. Impianti per il recupero delle lecitine. Impianti per l'idrogenazione degli oli e per la preparazione della margarina. Additivi consentiti.

Industria enologica. [9 ore]

Composizione dell'uva e del vino. Produzione del mosto. Impianti per la produzione di mosti muti, mosti concentrati e filtrati dolci. Vinificazione in presenza di vinacce ("in rosso") ed in assenza di vinacce ("in bianco"). Vinificazione intensiva e termovinificazione. Chiarificazione, stabilizzazione ed invecchiamento del vino. Spumantizzazione con i metodi *champenois* e Charmat. Impianti per la distillazione delle vinacce e per il recupero dei tartrati e dei vinaccioli. Impianti per la produzione di "alcol buon gusto". Produzione dell'aceto.

Industria della birra. [6 ore]

Produzione del malto. Produzione delle farine e delle semole. Ammostamento, saccharificazione e decantazione. Luppollaggio. Refrigerazione e filtrazione. Fermentazione, maturazione e chiarificazione. Pastorizzazione. Produzione di birre con particolari requisiti. Produzione di birra analcolica.

Industria lattiero-casearia. [6 ore]

Composizione del latte. Impianti per la pastorizzazione e la sterilizzazione del latte (sistemi HTST e UHT). Impianti per la produzione di latte concentrato e di latte in polvere: caratteristiche dei prodotti. Produzione di yogurt, burro e dei principali tipi di formaggio (cunno).

Industria per la lavorazione della frutta. [3 ore]

Impianti per la produzione di succo conservabile e di polpa concentrata. Estrazione e concentrazione degli aromi. Impianti per la produzione di succhi di frutta limpidi e torbidi, di sciroppi e di gelatine di frutta.

Industria dello zucchero. [2 ore]

Processi ed impianti per la preparazione dello zucchero.

Alterazione degli alimenti e tecniche di conservazione. [7 ore]

Cause dell'alterazione delle sostanze alimentari. Tecniche di conservazione basate sulla disidratazione: impianti utilizzanti il calore (concentrazione ed essiccamento), processi a membrana (osmosi diretta ed inversa ed ultrafiltrazione) ed il freddo (crioconcentrazione e liofilizzazione). Tecniche di conservazione dell'alimento tal quale basate sul calore e sul freddo; cenno ai principali impianti. Conservanti chimici.

Altri additivi chimici. [3 ore]

Emulsionanti, addensanti, gelificanti, stabilizzanti, esaltatori di sapidità, acidificanti, antischiumogeni, antiagglomeranti di polveri, agenti di rivestimento, coloranti, ecc.. Legislazione.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni del corso sono divise in due parti. La prima (44 ore), da svolgersi in aula, prevede l'esecuzione del progetto di massima di un impianto dell'industria alimentare, completato con uno studio della sua disposizione da realizzarsi, eventualmente, mediante l'impiego del calcolatore (per cui è disponibile il necessario *software*: è indispensabile la conoscenza del CAD). L'esercitazione è svolta da squadre di 3-4 studenti. La seconda (4-5 mezza giornate) prevede la visita a stabilimenti produttivi. La visita può essere preceduta da una presentazione da parte di personale dello stabilimento.

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

P. Cappelli, V. Vannucchi, *Chimica degli alimenti: conservazione e trasformazioni*, Zanichelli, Bologna, 1990.

Testi ausiliari:

J.C. Cheftel, H. Cheftel, *Biochimica e tecnologia degli alimenti*, Edagricole, Bologna, 1988.

G. Quaglia, *Scienza e tecnologia degli alimenti*, Chiriotti, Pinerolo, 1992.

ESAME

Gli esami consistono in una prova orale il cui risultato viene integrato con quello dell'esercitazione svolta in aula (la cui validità è illimitata).

C 266 1**Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti 1**

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali)

Docente: Fulvia Chiampo

Il corso si occupa delle tecnologie e dei processi utilizzati per il trattamento degli effluenti aeriformi e dello smaltimento dei rifiuti solidi e dei fanghi. Il programma è pertanto indirizzato agli aspetti impiantistici e processistici sia costruttivi che gestionali, tenendo conto dei criteri di scelta fra le varie possibili opzioni di trattamento e della legislazione vigente.

PROGRAMMA*Inquinamento dell'aria*

Principali classi di inquinanti. Legislazione relativa all'inquinamento atmosferico.

Inquinamento atmosferico in ambienti di lavoro. Inquinamento da odori e tecnologie di trattamento. Biofiltri. [4 ore]

Apparecchiature per la depolverazione a secco: camere a gravità, separatori ad urto e inerziali, cicloni, separatori dinamici, filtri a maniche, separatori elettrostatici. [6 ore]

Apparecchiature per la depolverazione ad umido: cicloni, camere a *spray*, torri a riempimento, lavatori a Venturi e ad eiettore. [4 ore]

Apparecchiature per la separazione del particolato liquido, di gas e di vapori. [4 ore]

Incenerimento diretto, termico, catalitico. [2 ore]

Processi per la rimozione di NO_x e SO_x . [4 ore]

Microinquinanti organici clorurati. [2 ore]

Smaltimento dei rifiuti solidi

Legislazione vigente. Inceneritori per rifiuti solidi urbani e industriali. Pirolisi. [6 ore]

Discariche controllate. Produzione di biogas e di percolato da discariche per RSU. [6 ore]

Trattamenti di stabilizzazione-solidificazione per rifiuti tossico-nocivi. [2 ore]

Compostaggio. Apparecchiature per il trattamento dei rifiuti solidi: trituratori, separatori, trasportatori. [4 ore]

Riciclaggio e recupero di RSU: carta e cartone, vetro, alluminio, plastica, materiali metallici, pneumatici. Produzione di RDF. [8 ore]

Bonifiche di siti contaminati. Valutazione di Impatto Ambientale. [6 ore]

ESERCITAZIONI

Calcoli relativi al dimensionamento di apparecchiature per il trattamento degli effluenti inquinanti gassosi. [8 ore]

Calcolo di un camino. [4 ore]

Calcolo relativo ad una discarica per RSU (durata, produzione di biogas, produzione di percolato, etc.). [4 ore]

Sono previste visite presso discariche consortili per RSU, impianti di compostaggio, impianti per il trattamento di rifiuti solidi industriali. Tali visite sono parte integrante del corso.

BIBLIOGRAFIA

R.M. Bethea, *Air pollution control technology : an engineering analysis point of view*, Reinhold, 1978.

G. Tchobanoglous, H. Theisen, S.A. Vigil, *Integrated solid waste management*, McGraw-Hill, 1993.

C 266 2**Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti 2**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)
50+50 (nell'intero periodo)

Docente: Vito Specchia

Il corso si occupa dei processi e delle tecnologie usate per il trattamento degli effluenti liquidi e sviluppa gli aspetti costruttivi e gestionali, tenendo conto dei criteri di scelta fra le varie possibili opzioni di trattamento. Sono considerate inoltre le possibilità di inquinamento secondario derivante dalle operazioni di depurazione, nonché le implicazioni economiche connesse con le tecnologie di trattamento.

PROGRAMMA

Caratteristiche chimico-fisico-biologiche dell'acqua naturale; parametri di inquinamento: effetti ecotossicologici e sulla salute umana; legislazione italiana; disciplina per la definizione dei limiti di accettabilità degli scarichi. [6 ore]

Potere di autodepurazione dei corsi d'acqua; eutrofizzazione. [2 ore]

Acqua primaria: tipi; consumi industriali. Acqua per generatori di vapore; acqua addolcita; acqua demineralizzata; dissalazione dell'acqua. [5 ore]

Produzione di acqua per uso idropotabile. [2 ore]

Pretrattamenti degli effluenti liquidi: grigliatura; disoleatura; dissabbiatura; sollevamento; polmonazione; equalizzazione. [4 ore]

Trattamenti primari degli effluenti liquidi: correzione del pH; sedimentazione; coagulazione-flocculazione; flottazione. [4 ore]

Trattamenti secondari degli effluenti liquidi. [19 ore, in totale]

Trattamenti biologici: cenni di biologia applicata; [2 ore]

ossidazione aerobica mediante impianti a fanghi attivi, filtri percolatori, biodischi, letti annegati e letti fluidizzati; [8 ore]

nitrificazione-denitrificazione e rimozione biologica del fosforo; [3 ore]

digestione anaerobica. [4 ore]

Trattamenti chimici: ossidazione dei cianuri; riduzione del cromo esavalente; abbattimento del mercurio. [2 ore]

Trattamenti terziari degli effluenti liquidi: adsorbimento; filtrazione con letti a sabbia; sterilizzazione; ozonazione; processi a membrana semipermeabile. [5 ore]

Trattamenti dei fanghi: ispessimento; disidratazione; riscaldamento; ossidazione ad umido; incenerimento; messa a dimora in discarica. [3 ore]

ESERCITAZIONI

Vengono illustrati alla lavagna, anche con la partecipazione diretta degli allievi, esempi di dimensionamento di apparecchiature e di progettazione degli impianti di trattamento illustrati a lezione; ciò anche ai fini della preparazione della prova scritta di esame.

BIBLIOGRAFIA

Poiché gli argomenti trattati a lezione sono contenuti in più di un testo, si consiglia l'uso delle fotocopie messe a disposizione all'inizio delle lezioni, integrate con gli appunti presi durante le lezioni stesse. Possibili letture sono:

L. Masotti, *Depurazione delle acque: tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto*, Calderini, Bologna, 1987.

H.S. Azad, *Industrial pollution control handbook*, McGraw-Hill, New York, 1971.

ESAME

L'esame consiste in una prova scritta ed in una prova orale, la seconda va sostenuta immediatamente dopo la prima. Durante la prova scritta non è consentito consultare alcun testo né appunti (tutte le informazioni tecniche ed i dati necessari per lo svolgimento sono forniti nel testo d'esame). L'ammissione alla prova orale richiede il raggiungimento della sufficienza nella prova scritta. La prova orale consta di due distinte domande sugli argomenti sviluppati nel corso delle lezioni e delle esercitazioni. Il voto finale è pari alla media della valutazione sia dello scritto, sia delle due domande orali.

E 274 0**Impianti metallurgici**

Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 70+40+10 (nell'intero periodo)

Docente: Mario Rosso

Il corso ha lo scopo di far conoscere gli impianti industriali per la produzione e la trasformazione dei materiali. Con il termine impianti non si intende la semplice tecnologia impiantistica con la descrizione, inframmezzata da formule, del macchinario impiegato nell'industria: il programma proposto ha orizzonti ben più ampi, e vuol dare all'allievo una visione il più possibile vicina alla realtà industriale nella quale sarà chiamato ad operare, considerando l'impianto situato in un determinato luogo. Viene analizzata l'attività industriale nel suo complessivo, con le esigenze di sviluppo organico, di qualità ed affidabilità. Avendo in considerazione le condizioni ambientali e di sicurezza, vengono fomenti i criteri di progettazione, conduzione e gestione degli impianti stessi. Il programma, di carattere teorico-pratico, tiene conto del *curriculum* didattico seguito dagli studenti in Ingegneria dei materiali. Alcune visite a stabilimenti industriali meglio evidenzieranno gli argomenti studiati.

REQUISITI

È da considerarsi propedeutico il corso di *Fisica tecnica*.

PROGRAMMA

Disegno tecnico. [4 ore]

Norme unificate, proiezioni e assonometrie, elementi di base di metrologia tecnologica. Sezioni, indicazione convenzionale dei materiali nelle sezioni. Scritturazioni nei disegni e sistemi di quotatura. Interpretazione di un disegno tecnico.

Teoria e tecnologia del trasferimento di materia. [16 ore]

Trasporto dei solidi, nastri trasportatori, coclee, elevatori a tazze, mezzi particolari, trasporto pneumatico e cicloni separatori. Alimentatori e chiusure di scarico. Sistemi di stoccaggio dei solidi, tramogge e *silos*. Macinazione: frantumazione, granitura e polverizzazione, frantoi e mulini. Vagliatura e tipi di vaglio. La mescolazione dei solidi e relativi impianti. Sistemi misti solido-liquido: classificazione e flottazione, processi e impianti. Decantazione, sedimentazione, filtrazione, centrifugazione. Impianti di distribuzione dei fluidi: tubazioni, giunti, raccordi, guarnizioni e valvole, loro montaggio e protezione. Serbatoi per lo stoccaggio dei fluidi. Essiccamento diretto ed indiretto, cenni di igrometria ed analisi del processo, impianti di essiccamento.

Trasferimento del calore. [14 ore]

Richiami ai meccanismi di conduzione, convezione ed irraggiamento. Combustibili ed analisi del processo di combustione. Forni industriali: funzionamento e classificazione. La trasmissione di calore in regime stazionario ed in regime variabile nel tempo. Camini e tiraggio. Progettazione termotecnica. Perdite e recuperi di calore. Analisi dei forni industriali: elettrici, a combustibile, a muffola, in atmosfera controllata, forni sotto vuoto. Principali applicazioni: forni fusori, di elaborazione, di riscaldamento, di trattamento termico, di cottura e di sinterizzazione.

Impianti di produzione e formatura. [8 ore]

Impianti per la produzione di atmosfere controllate, per il rivestimento e la spruzzatura. Impianti per la formatura: stampaggio, laminazione, estrusione, rifusione a zone, colata, pressocolata, iniezione, *thixoforming* e *rheocasting*. Impianti per produzione, elaborazione e compattazione delle polveri. Presse isostatiche.

Ingegneria ambientale. [10 ore]

Protezione antincendio, classificazione e cinetica degli incendi, rivelatori, grado di pericolo, prevenzione ed estinzione. Polluzioni atmosferiche: polveri, fumi e odori. Normative, captazione ed aspirazione, impianti di depurazione ed abbattimento. Il corpo idrico e l'inquinamento: acque primarie e loro trattamento. Acque reflue: pretrattamenti, trattamenti primari, secondari e terziari. Raffreddamento dell'acqua. Trattamento dei fanghi. Rifiuti solidi: gestione e smaltimento. Inquinamento da rumore e da vibrazioni: normative, metodi di controllo, di riduzione e di protezione.

Ingegneria industriale. [12 ore]

Studi di fattibilità, concetti di ingegneria economica stati patrimoniali e ricerche di mercato. Fabbriati industriali e *plant-layout*. Caratteristiche dei fabbricati e criteri di scelta. Architettura industriale. Servizi generali e servizi ausiliari. Magazzini e modalità di immagazzinamento. Servomezzi: produzione e distribuzione dell'aria compressa, immagazzinamento e reti di distribuzione degli oli minerali, servomezzi gassosi. Impianti elettrici: normativa e schemi di distribuzione. Impianti di illuminazione: efficacia, progettazione e manutenzione.

Qualità e gestione. [6 ore]

Logistica industriale, rete logistica e gestione di un sistema logistico. Tempistica ed intercorrelazione delle unità operative. Produttività e redditività degli investimenti impiantistici. Controllo qualità del processo. La manutenzione e le politiche di manutenzione, manutenzione preventiva.

ESERCITAZIONI

Disegno: analisi di tavole rappresentative ed esecuzione di schizzi a mano libera.

Progettazione di impianti di trasporto per materiali solidi e di reti di distribuzione di fluidi. Criteri di scelta di: pompe per vuoto, per liquidi e per sospensioni, ventilatori e compressori.

Calcolo e progetto di un impianto di essiccazione. Teoria della combustione e calcoli relativi alla combustione. Progettazione di forni.

Analisi e discussione di *layout* di impianti industriali.

Le esercitazioni saranno completate da visite di istruzione a impianti industriali.

BIBLIOGRAFIA

Dispense fornite dal docente.

A. Monte, *Elementi di impianti industriali. Vol. I e II*, Cortina, Torino.

ESAME

È prevista la discussione dell'esercitazione monografica relativa al progetto di un forno o di altro impianto, seguita da una prova orale.

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+2 (ore settimanali)
70+16+6 (nell'intero periodo)

Docente: Bruno De Benedetti (collab.: Giovanni Maizza)

Si tratta di una disciplina, didatticamente autonoma, propedeutica fondamentale per l'indirizzo metallurgico del corso di laurea in Ingegneria chimica e per l'indirizzo metallurgico del corso di laurea in Ingegneria meccanica.

Tratta di struttura, proprietà, comportamento fisico-meccanico dei metalli, argomento appena sfiorati nei due corsi paralleli a carattere tecnologico e strettamente applicativo di *Tecnologia dei materiali metallici* e di *Metallurgia*.

REQUISITI

Le nozioni propedeutiche impartite nel corso di *Tecnologia dei materiali e chimica applicata*.

PROGRAMMA

- Struttura cristallina dei metalli; principali tipi di reticolo cristallino; natura del legame metallico. Difetti nei metalli: vacanze, dislocazioni, bordi di grano, difetti di impilamento. [12 ore]
- Leghe metalliche; soluzioni solide sostituzionali e interstiziali; fasi di Hume-Rothery e di Laves; soluzioni solide ordinate. Richiami di termodinamica delle leghe metalliche e diagrammi di stato binari. [8 ore]
- Solidificazione dei metalli; fenomeni di nucleazione e crescita; solidificazione dendritica; fenomeni di segregazione; omogeneizzazione. Ricottura dei materiali metallici deformati a freddo: *recovery*, ricristallizzazione, crescita dei grani, ricristallizzazione secondaria. Fenomeni di indurimento per precipitazione: solubilizzazione, invecchiamento, nucleazione e crescita dei precipitati. [22 ore]
- Diffusione nelle soluzioni solide sostituzionali; prima e seconda legge di Fick; prima e seconda legge di Darken; determinazione dei coefficienti di diffusione; autodiffusione nei metalli puri; diffusione interstiziale. [8 ore]
- Deformazioni plastiche a temperature elevate per scorrimento sotto carichi costanti. [8 ore]
- Deformazione con geminazione; nucleazione e crescita dei geminati. Trasformazioni martensitiche; influenza delle sollecitazioni meccaniche sulla stabilità della martensite; trasformazioni bainitiche e perlitiche. [12 ore]

ESERCITAZIONI

Calcoli roentgenografici: scelta dell'anticatodo; calcolo delle costanti reticolari; indicizzazione di un diffrattogramma; calcolo dei coefficienti di diffusione. [16 ore]

LABORATORIO

Partecipazione a misure diffrattometriche su apparecchiature a goniometro verticale e orizzontale. [6 ore]

BIBLIOGRAFIA

R.E. Reed, *Physical metallurgy principles*, Van Nostrand, New York, 1977.

P. Brozzo, *Struttura e proprietà meccaniche dei materiali metallici*, ECIG, Genova, 1979.

ESAME

È previsto un solo accertamento finale tramite un colloquio orale. Il calendario viene stabilito in occasione di ogni appello in modo da favorire la massima flessibilità delle prove nel rispetto delle regole di Facoltà.

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali)
52+26 (nell'intero periodo)

Docente: Bernardo Ruggeri

Il corso è finalizzato sia a fornire una serie di nozioni biologiche di base, sia al trasferimento di metodologie di analisi tradizionali dell'ingegneria chimica ai sistemi biologici in reazione. Il corso è propedeutico agli insegnamenti di *Processi biologici industriali* e *Impianti biochimici*, di cui costituisce l'indispensabile fondamento.

REQUISITI

Principi di ingegneria chimica 1 e 2, Calcolo numerico.

PROGRAMMA

Biologia. [14 ore]

La struttura cellulare: cellule eucariotiche e procariotiche; batteri, muffe, alghe, protozoi, cellule animali; struttura delle molecole biologiche: non informazionali: carboidrati e lipidi; informazionali: proteine, enzimi; miste: membrane biologiche; struttura, reattività e proprietà; strutture informative: dai nucleotidi ad RNA e DNA; principi di genetica: DNA ricombinante a fini industriali.

Termodinamica. [10 ore]

Termodinamica dei processi irreversibili: equilibrio e trasformazioni cellulari; energetica dei sistemi biologici: catabolismo e anabolismo; reazioni metaboliche e reazioni genetiche; bilanci macroscopici di massa ed energia nei sistemi aperti; stechiometria delle reazioni biologiche: concetto di "accoppiamento"; l'entalpia di reazione.

Cinetica. [14 ore]

Fenomeni di trasporto: passivo, facilitato, attivo; proprietà di trasporto delle molecole biologiche; cinetiche biologiche: tecniche per la riduzione delle complessità formali: approccio *lumping*, tecnica dei rilassamenti; misure cinetiche: reattore integrale e differenziale, *gradientless*; problemi di consistenza tra misure sperimentali e modelli teorici; approcci modellistici alla dinamica biologica: sistemi a coltura pura e mista e sistemi, modelli deterministici, stocastici; stabilità puntuale ed asintotica, approcci avanzati: *fuzzy* e reti neurali.

Bioreattoristica. [10 ore]

Batch, CSTR: stabilità e molteplicità cinetica e termica; reattori a pistone; immobilizzati: a letto fisso, fluidizzato; valutazione delle resistenze controllanti; un particolare bioreattore: *fed batch*: stabilità e controllo; reattori a membrana; interazione tra fluidodinamica e biofase: agitazione e morfologia; la teoria della turbolenza isotropica di Kolmogorov quale base per la stima delle proprietà di trasporto dei brodi.

Principi dei biorecuperi. [4 ore]

Proprietà delle biomolecole; gradienti chimici ed elettrochimici; termodinamica e proprietà dei sistemi polifasici; essiccamento e denaturazione: la liofilizzazione quale principio di bioseparazione; recupero mediante l'uso di membrane.

ESERCITAZIONI

Esercizi di calcolo concernenti gli argomenti teorici trattati.

BIBLIOGRAFIA

Appunti dalle lezioni.

J.D. Rawn [et al.], *Biochimica*, McGraw-Hill, 1990.

B. Lewin, *Genes. IV*, Oxford Univ. Press, 1990.

J.A. Roels, *Energetics and kinetics in biotechnology*, Elsevier, 1983.

M.L. Shuler, F. Kargi, *Bioprocess engineering*, Prentice Hall, 1992.

C 399 3**Principi di ingegneria chimica 3**

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 2+3 (ore settimanali)

55+30 (nell'intero periodo)

Docente: Giancarlo Baldi

Il corso si propone di approfondire le conoscenze dei fenomeni di trasporto nei sistemi omogenei e di fornire una introduzione alla analisi dei sistemi multifasi. Ampio spazio è dedicato alla teoria della turbolenza ed alla sua applicazione in sistemi di interesse per l'ingegneria chimica.

REQUISITI

Principi di ingegneria chimica 1 e 2, Termodinamica per l'ingegneria chimica, Analisi matematica 1 e 2.

PROGRAMMA

- *Equazioni di bilancio*: richiamo delle equazioni di bilancio per fluidi omogenei; bilancio di sostanze ioniche e di elementi; bilancio di energia in sistemi a multicomponenti; bilanci mediati sul volume; bilanci di popolazione.
- *Trasporto di materia in sistemi a molti componenti*: bilancio entropico; deduzione delle equazioni costitutive lineari; diffusione in miscele liquide binarie; equazione di Stefan-Maxwell; bilancio all'interfaccia; coefficienti di scambio in presenza di flusso totale consistente; diffusione in *film* di molti componenti: soluzioni approssimate; applicazioni ai casi di assorbimento con reazione chimica e condensazioni di miscele di vapori.
- *Trasporto con interfaccia mobile*: dissoluzione e cristallizzazione; interfaccia mobile tra due fasi a densità molto diversa; liofilizzazione.
- *Trasporto in membrane*: pressione osmotica; operazioni a membrana: osmosi inversa, ultrafiltrazione, microfiltrazione, pervaporazione, separazione di gas; diffusione in membrane: modello dell'adsorbimento-diffusione-desorbimento; polarizzazione di concentrazione; reiezione; separazione di gas: regime di Knudsen, selettività.
- *Introduzione alla turbolenza*: equazione di variazione di quantità di moto in regime laminare; instabilità turbolenta e proprietà fluttuanti; decomposizione di Reynolds; correlazione e non correlazione tra due variabili fluttuanti; tensore degli sforzi di Reynolds; lunghezza di mescolamento; energia cinetica turbolenta; modelli di chiusura delle equazioni di Navier-Stokes; produzione e dissipazione di energia cinetica turbolenta; microscala di Taylor e di Kolmogoroff; spettro di energia; spettro dello scalare e microscala di Batchelor.

- *Fenomeni interfacciali*: natura dell'interfaccia; statica e dinamica dell'interfaccia; termodinamica dell'interfaccia: approccio di Gibbs; interfaccia solido-liquido: doppio stato, potenziale Z , modello DLVO per la stabilità dei colloidi.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consisteranno nello svolgimento di un problema, dalla impostazione teorica delle equazioni di modello fino alla risoluzione numerica delle stesse. Il lavoro sarà eseguito da piccoli gruppi di tre persone.

BIBLIOGRAFIA

Non esiste testo di riferimento.

Testi ausiliari:

D. Rossner, *Transport processes in chemically reacting flow systems*, Butterworths, 1986.

H. Tennekes, J.L. Lumley, *A first course in turbulence*, MIT Press, 1972.

A.W. Adamson, *Physical chemistry of surfaces*, Wiley, 1992.

ESAME

Oltre all'esercitazione, lo studente dovrà fare altre due relazioni su argomenti diversi. Coloro che lo desiderano possono inoltre sostenere l'esame orale tradizionale.

C 403 0**Processi biologici industriali**

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali)
56+28 (nell'intero periodo)

Docente: Giuseppe Genon

Il corso si propone di chiarire i concetti di base, e successivamente illustrare i principali procedimenti industriali, i quali utilizzino microrganismi allo scopo di ottenere la produzione di composti chimici di base, alimenti, biomasse. In tal senso, ad una prima parte di carattere generale concernente i meccanismi fondamentali fisici, chimici e biologici dell'ingegneria biochimica, ed i relativi modelli di interpretazione, segue una seconda parte più applicativa e tecnologica, volta ad illustrare dal punto di vista dello schema di processo le operazioni più importanti della microbiologia industriale.

REQUISITI

È propedeutico al corso l'apprendimento dei necessari fondamenti di chimica industriale e di principi di ingegneria chimica.

PROGRAMMA*Premesse di microbiologia.*

Caratteristiche dei microrganismi di interesse industriale, tipi, composizione, crescita, adattamento. [4 ore]

Meccanismi di utilizzo energetico e di trasformazione metabolica. [3 ore]

Ingegneria biochimica.

Cinetica dei processi biologici, azione di inibitori, cinetica di crescita delle biomasse, relazioni tra cinetica e trasferimento di materia. [8 ore]

Funzionamento di reattori continui, discontinui, semicontinui con o senza ricircolo. [5 ore]

Trasferimento di ossigeno in reattori aerati, con agitazione meccanica, operanti con ricircolo. Problemi di agitazione. *Scale-up* delle prestazioni. [10 ore]

Sterilizzazione termica del liquido culturale, mantenimento della sterilità, sterilizzazione dell'aria. [4 ore]

Particolarità costruttive dei reattori, sistemi di misura e di controllo. [6 ore]

Trattamento finale del liquido culturale, definizione dei costi di fermentazione. [4 ore]

Tecnologie applicative.

Produzione di metaboliti primari (etanolo, acidi organici), di enzimi, di antibiotici. [6 ore]

Principi generali dell'ossidazione biologica, trattamento delle acque di scarico, concetto dell'età del fango, trattamenti anaerobici a biomasse sospese e fissate. [6 ore]

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni prevedono il calcolo di dimensionamento di apparecchiature e la definizione dello schema di processo di tecnologie microbiologiche. Più in dettaglio, esse trattano i seguenti argomenti:

1. processi metabolici e considerazioni bioenergetiche; [4 ore]
2. cinetica di processi biologici; [6 ore]
3. dimensionamento dei sistemi di trasferimento dell'ossigeno; [8 ore]
4. definizione di uno schema di processo e costi; [4 ore]
5. dimensionamento processistico di sistemi di depurazione. [6 ore]

BIBLIOGRAFIA

S. Aiba, A.E. Humphrey, N.F. Millis, *Biochemical engineering*, 1973.

H.J. Rehm, G. Reed, *Biotechnology. Vol. 1 e 3*, 1983.

G. Genon, *Processi biologici industriali*, CLUT, 1993.

C 405 0**Processi di produzione dei materiali macromolecolari**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+1 (ore settimanali)
70+12 (nell'intero periodo)

Docente: Giuseppe Gozzelino

Il corso si propone di fornire un quadro generale sui principali processi industriali di produzione di polimeri sintetici. Vengono forniti i concetti di base della chimica macromolecolare e la loro applicazione nello sviluppo di processi per la produzione delle macromolecole costitutive le materie plastiche, gli elastomeri e i materiali termoindurenti. Sono inoltre prese in considerazione le proprietà fondamentali e le caratteristiche di impiego dei materiali macromolecolari ottenuti nei processi industriali e le tecnologie di trasformazione nei prodotti finali di consumo.

REQUISITI

Il corso può essere seguito agevolmente se si hanno le conoscenze di base di chimica organica e di chimica industriale.

PROGRAMMA

Generalità sulle macromolecole. [10 ore]

Classificazione, strutture, proprietà, settori applicativi. Pesi molecolari medi dalle proprietà di soluzioni polimeriche. Tecniche strumentali per la misura della distribuzione dei pesi molecolari.

Polimeri da poliaddizione radicalica. [12 ore]

Monomeri, iniziatori, modelli di reazione, cinetica, controllo del peso molecolare. Modalità di processi industriali in massa, in soluzione, in sospensione e in emulsione.

Polimeri da polimerizzazione a stadi. [6 ore]

Monomeri, catalizzatori, variabili di processo e grado di polimerizzazione, distribuzione dei pesi molecolari. Produzione industriale di poliammidi e poliesteri.

Polimeri da poliaddizione ionica. [4 ore]

Iniziatori ionici. Caratteristiche dei processi a propagazione cationica e anionica. Polimerizzazione stereospecifica.

Produzione di commodities polimeriche. [6 ore]

Polietilene a alta e bassa densità, polipropilene, polistirene, polivinil cloruro.

Polimeri da copolimerizzazione. [4 ore]

Modelli di copolimerizzazione. Composizione del polimero e reattività dei monomeri. Rapporti di reattività e loro valutazione. Copolimeri di interesse industriale.

Produzione di materiali elastomerici. [2 ore]

Monomeri. Tecnologie di polimerizzazione e di vulcanizzazione.

Resine termoindurenti. [6 ore]

Poliestere insature, epossidiche, fenoliche, amminiche, poliuretaniche. Applicazioni e tecnologie di produzione.

Proprietà dei polimeri. [6 ore]

Reologia delle soluzioni e dei fusi polimerici. Comportamento elastico e viscoso. Viscoelasticità. Densità di energia coesiva. Proprietà meccaniche dei polimeri in massa. Influenza della temperatura sulle proprietà. Degradazione. Invecchiamento. Miscele polimeriche.

Caratterizzazione dei polimeri. [4 ore]

Principali tecniche strumentali per la caratterizzazione chimica e fisica dei polimeri.

Tecnologie di trasformazione dei termoplasti. [6 ore]

Additivi e tecniche di miscelazione. Estrusione. Tecniche di stampaggio. Tecniche di filatura. Influenza della lavorazione sulle proprietà.

Materiali compositi a matrice polimerica. [4 ore]

Matrici e fibre per compositi. Cenni di micromeccanica dei compositi. Tecnologie di produzione.

ESERCITAZIONI

Gli studenti, divisi in gruppi, partecipano a sperimentazioni che hanno per oggetto reazioni di polimerizzazione, caratterizzazione chimica dei polimeri e prove sul comportamento meccanico di alcune classi di materiali polimerici utilizzando sia apparecchiature di uso didattico che apparecchiature dedicate alla ricerca.

Visita a stabilimenti produttivi che effettuano produzione o trasformazione di materiali plastici.

BIBLIOGRAFIA

AIM, *Macromolecole : scienza e tecnologia. Vol. 1*, Pacini, Pisa, 1992.

Appunti delle lezioni forniti dal docente.

C 407 0**Processi elettrochimici**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6 (ore settimanali)
72 (nell'intero periodo)

Docente: Nerino Penazzi

Scopo del corso è quello di fornire le conoscenze di base dell'industria elettrochimica mediante l'esame di alcuni processi fondamentali. Vengono anche fornite alcune notizie sugli impianti in relazione a problematiche tipiche dell'ingegneria elettrochimica.

REQUISITI

Il corso presuppone la conoscenza dei principi di ingegneria chimica e dell'elettrochimica.

PROGRAMMA

L'impianto elettrochimico. [6 ore]

Aspetti tecnici del processo elettrochimico industriale, aspetti economici del dimensionamento del circuito di elettrolisi, la conversione dell'energia elettrica.

La cella e il circuito di elettrolisi. [10 ore]

Le parti costitutive, elettrodi unipolari e bipolari, la struttura degli elettrodi, sistemi tipici di collegamento, i diaframmi porosi, materiali elettrodi.

L'elettrolisi dell'acqua. [12 ore]

La scelta dell'elettrolita, la tensione di elettrolisi, la purezza dei gas, il bilancio termico, apparecchi bipolari, l'elettrolisi sotto pressione.

L'elettrolisi dei cloruri alcalini. [16 ore]

Il processo a diaframma, controcorrente, la concentrazione di soda nell'effluente catodico, il rendimento faradico, il comportamento del diaframma, modelli industriali tipici, il processo a mercurio, influenza delle impurezze, il processo di decomposizione dell'amalgama, ciclo della salamoia, il processo a membrana, altri processi elettrolitici dei cloruri in soluzione acquosa (ipocloriti, clorati, perclorati).

Processi idrometallurgici. [12 ore]

Aspetti fondamentali, idrometallurgia del rame, raffinazione ed estrazione elettrolitica, idrometallurgia del nichel e del cobalto, idrometallurgia dello zinco, effetto delle impurezze, idrometallurgia del cadmio.

Processi elettrolitici in sale fuso. [6 ore]

Aspetti fondamentali, produzione e raffinazione elettrolitica dell'alluminio, sistema catodico e sistema anodico, reazioni primarie, reazioni secondarie, composizione e temperatura del bagno, la tensione di elettrolisi, nebbie catodiche ed effetto anodico.

Galvanotecnica. [4 ore]

Galvanostegia, galvanoplastica, circuiti stampati, elettroformazione, lavorazione elettrochimica dei metalli.

Generatori elettrochimici. [6 ore]

Pile Leclanché, pile alcaline, pile a ossido, accumulatori al piombo, accumulatori nichel-cadmio, pile a combustibile.

BIBLIOGRAFIA

P. Gallone, *Trattato di ingegneria elettrochimica*, Tamburini, Milano, 1973.

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6 (ore settimanali)
64++14 (nell'intero periodo)

Docente: Franco Ferrero (collab.: Roberta Bongiovanni)

Il corso sviluppa argomenti specialistici della chimica industriale organica. Data la vastità ed eterogeneità dei processi della chimica fine, gli argomenti scelti sono stati raggruppati in tre tematiche di base: polimeri per usi speciali, chimica dei processi interfase, chimica del colore e fotochimica. Si intende così evitare una eccessiva frammentazione degli argomenti e una trattazione prevalentemente descrittiva. Gli aspetti applicativi si concretizzano nelle esercitazioni di laboratorio, in cui gli allievi in piccoli gruppi hanno la possibilità di venire a conoscenza di metodiche strumentali utilizzate nel controllo analitico di alcuni processi e prodotti speciali.

REQUISITI

È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati in: *Chimica 1 e 2, Chimica organica e Chimica industriale 1.*

PROGRAMMA

Polimeri per usi speciali

Fibre chimiche: terminologia e classificazione; polimeri fibrosi: struttura organochimica macromolecolare e supermolecolare; modelli strutturali, relazioni struttura – proprietà; proprietà morfologiche, meccaniche e fisiche in genere; proprietà chimiche: assorbimento di acqua rigonfiamento, tingibilità, resistenza ad agenti chimici, alla fotodegradazione; comportamento termico: transizioni 1. e 2. ordine, relazioni con la struttura; metodi di analisi termica e applicazioni alle fibre; reazione al fuoco: autoestinguenza e ignifugazione. [12 ore]

Principi della filatura chimica: filabilità, filiere, processi da fuso, a secco, ad umido.

Fibre artificiali: cellulosa, processo viscosa e fibre modali, filo cupro, acetato e triacetato.

Fibre sintetiche: monomeri, polimerizzazione, filatura di: poliammidi, poliestere, acriliche, cloroviniliche, poliolefiniche, fibre elastomeriche.

Fibre tecniche, tessuti non-tessuti, geotessili. [12 ore]

Chimica dei processi interfase

Esempi: processi di nobilitazione tessile e funzione degli ausiliari; tensione superficiale e lavoro di adesione; proprietà dei tensioattivi: potere imbibente, idrorepellenza, potere detergente, schiume; comportamento dei tensioattivi in soluzione acquosa: potere emulsionante, HLB, *c.m.c.*; classificazione e processi di produzione dei tensioattivi. Sbiancanti, detersivi e sequestranti. Sistemi colloidali e loro applicazione a processi industriali: flocculazione, polielettroliti e polimeri per il trattamento delle acque; processi di scambio ionico; catalisi in trasferimento di fase. [16 ore]

Chimica del colore e processi fotochimici

Principi della colorimetria industriale: illuminanti *standard*, meccanismo della percezione visiva dei colori, colorimetria di trasmissione, classificazione dei colori, sistema tristimolo, spazi di colore, metameria, colorimetria di riflessione, spettrofotometri, applicazioni. [6 ore]

Coloranti: relazioni tra colore e struttura, proprietà applicative, solidità delle tinture, classificazione tintoriale e chimica, fluorescenza e candeggianti ottici; principi della tecnologia della tintura e chimico-fisica dei processi tintoriali: fenomeni diffusivi, fattore idrodinamico, cinetica e termodinamica; principali processi tintoriali. [10 ore]

Processi fotografici e di fotoriproduzione; principi della stampa grafica e tessile; processi fotochimici. [8 ore]

LABORATORIO

Analisi termica di materiali polimerici. [3 ore]

Spettrofotometria FT-IR di materiali polimerici. [2 ore]

Gascromatografia di solventi e monomeri. [3 ore]

Misura della tensione superficiale e della *c.m.c.* di tensioattivi con la bilancia di Cahn. [2 ore]

Flocculazione di sospensioni. [2 ore]

Colorimetria di trasmissione e spettrofotometria UV-VIS di coloranti. [2 ore]

BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

Dispense monografiche a cura del docente.

Testi ausiliari:

H. Zollinger, *Color chemistry*, VCH, 1992.

ESAME

L'esame consiste in una prova orale, nel corso della quale possono venire discussi anche i risultati delle esperienze di laboratorio presentati in forma di relazioni scritte.

C 417 0**Progettazione di apparecchiature
dell'industria chimica**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6 (ore settimanali)

Docente: Giorgio Rovero

Il corso si propone di illustrare lo sviluppo di un progetto per la realizzazione di un processo chimico, a partire dall'idea iniziale alla emissione degli elaborati e dei documenti tipici delle varie fasi intermedie e finali. La suddivisione delle varie funzioni di *management* è illustrata al fine di giustificare la distribuzione dei compiti delle figure professionali. Sono valutate, in successione, le fasi che precisano e sviluppano progressivamente la definizione del progetto fino all'ingegneria di dettaglio ed ancora, come appendice, il preavviamento e la messa in marcia dell'impianto. Cenni di operabilità e di sicurezza vengono sviluppati come verifica e messa a punto dei sistemi di controllo installati sulle singole apparecchiature interconnesse nella realizzazione del processo chimico.

REQUISITI

Oltre agli insegnamenti di base, si intendono propedeutiche le nozioni impartite di *Impianti chimici 1 e 2*.

PROGRAMMA

Organizzazione di un progetto. [4 ore]

Vengono definiti i compiti delle varie figure professionali coinvolte nella gestione di un progetto.

Obiettivi di un progetto. [6 ore]

Vengono stabiliti i prodotti del lavoro di ingegneria che deve essere intrapreso a partire dalle informazioni iniziali, valutate criticamente, all'emissione degli elaborati.

Progettazione concettuale. [20 ore]

In questa fase vengono decise le operazioni unitarie e la loro sequenza utili al raggiungimento degli obiettivi del processo chimico: a partire da schemi a blocchi semplificati si giunge ad una definizione finale che sarà presa in considerazione per le elaborazioni progettuali successive.

Progettazione di base. [40 ore]

Le varie operazioni unitarie vengono descritte in dettaglio mediante bilanci di materia, energia e quantità di moto. Particolari condizioni fluidodinamiche sono oggetto di valutazione specifica del caso esaminato.

Circolazione di dati.

Ogni fase del progetto è interconnessa con le altre ed è resa compatibile in modo da costituire un progetto coerente in tutti i suoi aspetti quantitativi (fase distribuita nelle varie approssimazioni successive).

Sviluppo dello schema di controllo. [20 ore]

La funzionalità e la possibilità di regolazione dell'impianto sono analizzate; per ogni apparecchiatura si stabiliscono gli obiettivi di controllo, si individuano le variabili manipolabili ed una configurazione ottimale.

Stesura del P&ID del processo. [20 ore]

Il *piping*, la schematizzazione delle apparecchiature, la loro interconnessione fisica e i cicli di controllo sono rappresentati in uno schema funzionale, secondo le normative seguite dalle principali società di ingegneria chimica, al fine di dare una rappresentazione chiara del processo e delle sue modalità di conduzione.

BIBLIOGRAFIA

SnamProgetti, *Guida alla progettazione degli impianti petrolchimici e di raffinazione*, Pirola, Milano, 1975.

H.F. Rase, M.H. Barrow, *Project engineering of process plants*, Univ. of Texas & Foster Wheeler Co.

M. Capra, *Aspetti organizzativi di un progetto : procedura operativa*, Ars Ing., 1992.

G. Zerboni, *Fasi della realizzazione degli impianti chimici*, 1990.

S.R. Hed, *Project control manual*, 1985.

Sinnok, *Chemical engineering. Vol. 6*, 2nd ed., Elsevier.

J.M. Douglas, *Conceptual design of chemical processes*, McGraw-Hill, Singapore, 1988.

G. Rovero, U. Arena, *Progettazione di un inceneritore a letto fluido circolante*, SMIC Politecnico di Torino, 1993.

G. Rovero, A. Barresi, *Progettazione di un inceneritore catalitico per effluenti gassosi contenenti cloruro di vinile*, SMIC Politecnico di Torino, 1994.

ESAME

Gli studenti presentano una relazione monografica coordinata nei vari argomenti trattati. Al termine del corso, successivamente alla correzione e revisione degli elaborati, gli studenti presentano il loro lavoro di progetto pubblicamente in forma seminariale, a cui segue una valutazione complessiva.

C 445 0**Reattori chimici**

Anno:periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali)
52+26 (nell'intero periodo)

Docente: Italo Mazzarino

Il corso si propone di approfondire lo studio dei reattori chimici fornendo agli allievi le conoscenze indispensabili per il progetto e l'esercizio di tali apparecchiature. Lo studio è condotto attraverso una analisi teorica del comportamento dei reattori chimici abbinata ad un esame delle problemi di carattere pratico connessi all'impiego di tali apparecchiature nei processi chimici industriali.

REQUISITI

La conoscenza dei fondamenti teorici dei fenomeni di trasporto e della cinetica chimica applicata trattati nei corsi di *Principi di ingegneria chimica* e *Principi di ingegneria chimica 2* è di fondamentale importanza per la comprensione degli argomenti trattati nel corso.

PROGRAMMA

Reazioni catalitiche eterogenee. [8 ore]

Chemisorbimento su superfici catalitiche, diffusione in solidi porosi, catalizzatori polifunzionali, cinetica dei fenomeni elementari di una reazione catalitica, espressione cinetica generalizzata, modelli cinetici semplificati, identificazione dei parametri cinetici.

Reattori chimici polifasici. [10 ore]

Sistemi con catalizzatore disperso e con letto catalitico fisso, fluidodinamica dei reattori gas-liquido-solido, reattori polifasici innovativi, impiego dei reattori polifasici in processi chimici industriali, reazioni gas-solido di tipo non catalitico, reattori sperimentali per lo studio di sistemi polifasici.

Dinamica dei reattori chimici. [10 ore]

Molteplicità e stabilità degli stati stazionari, fenomeni di isteresi termica, analisi del comportamento dinamico dei reattori, regimi periodici forzati, fenomeni di disattivazione catalitica.

Reattori chimici per processi di polimerizzazione. [8 ore]

Cinetica delle reazioni di polimerizzazione, reattori continui e discontinui per reazioni di polimerizzazione in fase fluida, apparecchiature per trattamento di polimeri allo stato solido.

Sicurezza dei reattori chimici. [12 ore]

Sicurezza termica dei processi, reazioni secondarie in condizioni non controllate, calorimetria differenziale, misure preventive e protettive, gestione di processi discontinui, casistica di incidenti.

Reattori chimici per applicazioni ambientali. [4 ore]

Reattori per processi di combustione catalitica di composti organici volatili, depurazione di effluenti liquidi mediante ossidazione chimica catalitica e fotocatalitica, processi catalitici per il trattamento delle acque per uso potabile.

ESERCITAZIONI

Gli allievi, suddivisi in gruppi di 3-4 persone, svolgono alcuni esercizi relativi ad argomenti trattati nel corso:

1. identificazione dei parametri cinetici di una reazione chimica mediante regressione di dati sperimentali;
2. identificazione dei parametri fluidodinamici di un reattore chimico polifasico;
3. analisi del comportamento dinamico di un reattore chimico;
4. elaborazione di un modello chimico-fisico di un reattore chimico e simulazione del suo comportamento al variare delle condizioni operative.

Le esercitazioni comprendono una prima parte di analisi teorica del problema ed una seconda parte di calcolo numerico nella quale potrà essere utilizzato il laboratorio informatico dipartimentale.

BIBLIOGRAFIA

Non è previsto un testo di riferimento in quanto gli argomenti trattati nel corso sono riportati su diversi testi il cui costo complessivo è ritenuto eccessivo. Il docente provvederà alla distribuzione di appunti ed altro materiale di supporto didattico.

Testi ausiliari:

K.R. Westerterp [et al.], *Chemical reactors design and operation*.

G.F. Fromant, K.B. Bischoff, *Chemical reactors analysis and design*.

P.A. Ramachandran, R.V. Chaudhari, *Three-phase catalytic reactors*.

Y. Shah, *Gas-liquid-solid chemical reactors*.

ESAME

È prevista una sola prova orale d'esame. Eventuali lavori di approfondimento su argomenti specifici trattati nel corso ed elaborati nel corso delle esercitazioni facoltativamente presentati dagli esaminandi contribuiranno alla valutazione complessiva.

C 463 0**Scienza e tecnologia dei materiali ceramici**

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)
85+10+10 (nell'intero periodo)

Docente: Ignazio Amato (collab.: Laura Montanaro)

Il corso intende fornire agli studenti interessati all'ingegneria dei materiali una adeguata conoscenza delle caratteristiche, della produzione e dell'uso dei materiali ceramici d'impiego industriale.

REQUISITI

È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati nel corso di *Chimica* e di *Tecnologia dei materiali e chimica applicata*.

PROGRAMMA

Scienza ceramici. [9 ore]

I solidi: fondamenti teorici. L'ordine nei solidi. Cristalli e strutture cristalline. Solidi ionici e solidi covalenti: legami, strutture, proprietà. Solidi policristallini, microstrutture, ceramografia.

Comportamento superficiale dei solidi, energia superficiale, bagnabilità, capillarità, adsorbimento.

Proprietà ceramiche. [7 ore]

Solidi duttili e solidi fragili. Le proprietà dei solidi. Comportamento meccanico dei ceramici e tenacità alla frattura. Correlazioni proprietà – microstruttura.

Densificazione dei materiali ceramici. [9 ore]

I difetti nei solidi e la diffusione. La densificazione per sinterizzazione. La teoria della sinterizzazione. Le proprietà dei solidi sottoposti a sinterizzazione: la superficie specifica. Le caratteristiche dei sinterizzati: la porosità aperta e chiusa, la dimensione dei pori. L'influenza di gas occlusi nei pori e la regressione della densità. Sinterizzazione a più componenti solidi. Sinterizzazione in sistemi solido-liquido. Densificazione per pressatura a caldo. Sinterizzazione e ricristallizzazione.

Tecnologia dei materiali ceramici. [25 ore]

Le polveri ceramiche: caratteristiche. I processi di produzione di polveri industriali. I processi di produzione di polveri speciali: sol-gel, evaporazione ed estrazione solvente, reazione in fase vapore. Additivi di processo e meccanismo d'azione. Meccanica delle particelle e reologia. I processi di preparazione delle polveri prima della formatura: trasporto, macinazione, mescolamento, lavaggio, granulazione. I processi di formatura: pressatura, estrusione, colaggio. I processi di cottura: essiccamento, presinterizzazione, sinterizzazione. Finitura e rivestimenti.

Prodotti ceramici. [25 ore]

Ceramici base ossido: allumina e zirconia. Ceramici base nitruri: nitruro alluminio, nitruro di silicio, nitruro di boro. Ceramici base carburi: carburo tungsteno, carburo titanio, carburo silicio. Ceramici base boruro: boruro di zirconio. Ceramici base sili-

ciuri: siliciuro di molibdeno. Ceramiche per sensori ed elettroliti solidi. Metallo-ceramiche ed utensili da taglio. Vetro e vetro-ceramiche. Diamante policristallino.

I rinforzi ceramici: le fibre di nitruro di silicio, gli *whiskers* di carburo di silicio, le fibre di carbonio. Compositi ceramici e monocompositi ceramici.

ESERCITAZIONI

1. Analisi strutturale: calcolo della struttura di alcuni materiali ceramici. [3 ore]
2. Analisi microstrutturale: valutazione e calcolo microstruttura di alcuni materiali ceramici (grano medio, fattore di aspetto). [3 ore]
3. Determinazione proprietà meccaniche: modulo di Young, tenacità a frattura, flessione a tre punti, durezza Vickers e Knoop. Statistica di Weibull: esempi applicativi. [4 ore]

LABORATORIO

Le esercitazioni, con squadre a numero limitato di studenti, riguarderanno quanto segue:

1. Identificazione dei costituenti in una miscela di ossidi ceramici mediante diffrazione ai raggi X. [2 ore]
2. Le tecniche microscopiche: SEM, TEM, HRTEM, EDS, WDS. [2 ore]
3. Valutazione caratteristiche meccaniche ceramici. [2 ore]
4. Analisi granulometrica laser di polveri ceramiche. [2 ore]
5. Determinazione superficie specifica e porosità. [2 ore]
6. Analisi termotecniche e termofisiche (TGA, DTA, DSC, dilatomètria). [2 ore]

BIBLIOGRAFIA

J.S. Reed, *Introduction to principles of ceramic processing*, Pergam, New York.

R. Sersale, *I materiali ceramici ordinari e speciali*, Ed. Ambrosiana.

I. Amato, Monografie.

L. Montanaro, Monografie.

ESAME

Orale con presentazione relazioni scritte, svolte durante le lezioni, ed elaborazioni svolte durante le esercitazioni.

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6 (ore settimanali)

Docente: Aldo Priola

Scopo del corso è di fornire le conoscenze di base sulla struttura dei materiali polimerici, sulle loro proprietà e sulle tecnologie di trasformazione. Particolare importanza viene data all'esame della correlazione tra la proprietà e la struttura molecolare e la morfologia di questi materiali. Nella seconda parte sono trattate le tecnologie di trasformazione impiegate industrialmente e i più recenti sviluppi applicativi.

PROGRAMMA

Aspetti generali. [4 ore]

Legami chimici e strutture molecolari organiche. Stereochimica. Materie prime; monomeri.

Struttura e caratterizzazione delle macromolecole. [20 ore]

Pesi molecolari e loro distribuzione. Forze di coesione intermolecolari, regolarità e flessibilità della catena polimerica. Struttura supermolecolare: morfologia dello stato amorfo e cristallino. Reticoli polimerici, densità di reticolazione. Caratterizzazione termica e chimico-fisica dei polimeri.

Principali tipi di polimeri industriali. [22 ore]

Polimeri di policondensazione e di poliaddizione. Processi di produzione dei principali polimeri termoplastici, fibre ed elastomeri. Polimeri di impiego generale e tecnopolimeri.

Proprietà dei polimeri in massa. [15 ore]

Proprietà termiche: fenomeni di fusione e transizione vetrosa. Capacità termica, dilatazione, conducibilità. Proprietà meccaniche: rigidità, resistenza a trazione, al taglio, a compressione. Resilienza. Comportamento viscoelastico dei polimeri. Reologia dei polimeri fusi. Equazione di WLF. Proprietà dinamo-meccaniche. Comportamento elastico delle gomme.

Proprietà elettriche. [5 ore]

Conducibilità, costante dielettrica, fattore di dissipazione. Polimeri semiconduttori e conduttori. Impiego dei polimeri in microelettronica. Proprietà ottiche. Indice di rifrazione, trasparenza. Vetri organici.

Additivi e agenti modificanti nei materiali polimerici. [5 ore]

Plastificanti, pigmenti, cariche, agenti rinforzanti: influenza sulle proprietà dei materiali. Additivi antiossidanti. Processi di invecchiamento dei polimeri. Reazioni di degradazione. Impiego di agenti stabilizzanti. Additivi antifiama.

Tecnologie di trasformazione.

Polimeri termoplastici: tecnologie di iniezione, estrusione, calandratura, termoformatura; stampaggio rotazionale, spalmatura. [6 ore]

Polimeri termoindurenti: poliuretani, poliesteri insaturi, poliimmidi e altri tipi di resine. Tecnologie di trasformazione. Tecnologia delle gomme. Materiali polimerici espansi.

Leghe polimeriche. Polimeri per vernici ed adesivi. Cenno ai composti polimerici. [12 ore]

I polimeri e l'ambiente: tecnologie di riciclo dei materiali polimerici e smaltimento dei rifiuti plastici. [2 ore]

ESERCITAZIONI

1. Esercitazioni in aula con applicazioni di calcolo sugli argomenti di lezione.
2. Esercitazioni sperimentali di laboratorio con squadre a numero limitato di allievi, che riguarderanno la caratterizzazione dei materiali polimerici e la valutazione delle loro proprietà meccaniche fondamentali. Su alcune esercitazioni verrà richiesta la stesura di una breve relazione.
3. Sono previste visite ad impianti di trasformazione di materie plastiche.

BIBLIOGRAFIA

Scienza e tecnologia delle macromolecole / a cura dell'AIM. Vol. I e II, Pacini, Pisa, 1983.

D.W. Van Krevelen, *Properties of polymers*, Elsevier, Amsterdam, 1976.

L.E. Nielsen, *Mechanical properties of polymers and composites*, Dekker, New York, 1994.

F. Rodriguez, *Principles of polymer systems*, McGraw-Hill, New York, 1982.

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+1 (ore settimanali)
70+15 (nell'intero periodo)

Docente: Aurelio Burdese (collab.: Mario Rosso)

Il corso ha lo scopo di affinare la preparazione dell'ingegnere in campo metallurgico, fornendo conoscenze specialistiche sulle leghe ferrose, con particolare riferimento ai processi ed impianti siderurgici, senza però trascurare un più approfondito studio delle proprietà strutturali, meccaniche e chimiche dei prodotti siderurgici e delle loro caratteristiche di impiego.

Per una buona preparazione nel campo specifico occorrono buone nozioni di base sulle metallurgia generale, la tecnologia dei materiali metallici (trattamenti termici e meccanici), e dei materiali refrattari, la teoria e la pratica dei fenomeni di combustione e di trasmissione del calore.

Il corso si svolgerà con lezioni, integrate da esami di schemi costruttivi di impianti ed apparecchiature specifiche con visite a stabilimenti siderurgici. Essendo un corso di tipo applicativo l'estensione degli argomenti potrà variare in modo significativo rispetto all'impegno previsto nel programma in dipendenza di opportuni aggiornamenti della tecnologia.

REQUISITI

Termodinamica dell'ingegneria chimica, Tecnologia dei materiali e chimica applicata, Metallurgia.

PROGRAMMA

Chimica fisica dei processi siderurgici. [20 ore]

Equilibri omogenei ed eterogenei in sistemi di interesse siderurgico. Bagni metallici. Equilibri metallo - scoria. Equilibri di riduzione degli ossidi. Termodinamica dei processi siderurgici.

Teoria e pratica dei processi di riduzione. [30 ore]

Riducibilità degli ossidi. Sistemi costituiti da ossidi in progressiva riduzione. Equilibri di riduzione degli ossidi di ferro con riferimento all'effetto di ossidi estranei, in particolare dei componenti delle scorie siderurgiche. Riducenti. Riduzioni dirette e indirette. Combustibili. Preriscaldamento e ricupero di calore.

Classificazione e controllo di forni siderurgici.

Ghisa. [10 ore]

Preparazione del minerale. Altoforno ed impianti ausiliari. Altoforno elettrico e forni per ferroleghe. Seconda fusione. Inoculazione e colata. Sferoidizzazione e malleabilizzazione. Ghise legate. Caratteristiche di impiego delle ghise.

Acciaio. [10 ore]

Processi di preraffinazione ed affinazione. Disossidazione e colata. Fabbricazione di acciai speciali. Lavorazioni ed utilizzazione dell'acciaio. Trattamenti termici e caratteristiche strutturali e di impiego degli acciai. Comportamento in opera.

ESERCITAZIONI

Esame di schemi costruttivi e dimensionamento di apparecchiature ed impianti siderurgici. [15 ore]

BIBLIOGRAFIA

A. Burdese, *Metallurgia e tecnologia dei materiali metallici*, UTET, Torino, 1992.

W. Nicodemi, R. Zoja, *Processi e impianti siderurgici*, Tamburini, Milano.

G. Violi, *Processi siderurgici*, ETAS Kompass, Milano.

ESAME

È previsto un solo accertamento finale tramite un colloquio orale. Il calendario viene stabilito in occasione di ogni appello in modo da favorire la massima flessibilità delle prove nel rispetto delle regole di Facoltà.

C 544 0**Tecnica della sicurezza ambientale**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Norberto Piccinini (collab.: Guido Sassi)

Nel quadro dell'ampio significato dei termini "rischio" e "sicurezza", il corso intende fornire gli strumenti per individuare le pericolosità nelle varie attività e definire procedimenti, tecnici od organizzativi, per raggiungere obiettivi di sicurezza. Il corso intende inoltre trasferire le valutazioni dei rischi in processi decisionali per una corretta progettazione e per una attenta gestione dei rischi imprenditoriali od ambientali.

REQUISITI

Sarebbe opportuno che l'allievo avesse superato un insegnamento di impianti.

PROGRAMMA

Incidenti e rischi nelle attività umane. [6 ore]

Infortuni sul lavoro e malattie professionali. Evoluzione dei concetti di "rischio" e "sicurezza". Scale e parametri per valutazioni di tollerabilità dei rischi. Le valutazioni di impatto ambientale. *Environmental audits.*

Pericolosità di prodotti ed operazioni industriali. [20 ore]

Tossicità delle sostanze chimiche. Reazioni di combustione ed esplosive. Elementi di protezione contro gli incendi. Rischi legati all'uso dell'energia elettrica.

Metodi di studio dei rischi nelle attività antropiche (impianti industriali e grandi opere infrastrutturali). Metodi basati sul giudizio ingegneristico (indici di rischio, *safety audits, check list*). Approccio storico a mezzo banche dati incidenti. [4 ore]

Valutazioni probabilistiche dei rischi. [16 ore]

- Metodi per l'individuazione delle pericolosità di origine interna agli impianti (analisi di operabilità, Hazop, analisi dei guasti e loro effetti; FMEA).
- Valutazione della risposta di un impianto al verificarsi di un guasto per mezzo di alberi logici e decisionali (diagramma delle sequenze incidentali, albero degli eventi, albero dei guasti, diagramma logico cause - conseguenze).
- Stima della frequenza di eventi incidentali (risoluzione di alberi logici).
- Analisi di sequenze incidentali di tipo dinamico.

Principi e metodi dell'affidabilità tecnologica. [8 ore]

Affidabilità di un componente, di sistemi operativi (in serie o in parallelo, a logica maggioritaria), di sistemi in attesa di intervento. Banche dati affidabilità. Analisi di sistemi tramite catene di Markov.

Valutazione degli errori umani. [2 ore]

Cause e tipi di errore umano. Modelli e dati per la stima dell'affidabilità umana.

Danni all'ambiente. [14 ore]

Uso irrazionale delle risorse, cattiva gestione del suolo e dei reflui (solidi, liquidi e gassosi).

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nella preparazione di relazioni tecniche dai differenti contenuti. Gli argomenti trattati dovranno quindi essere presentati in modo schematico evitando la forma colloquiale. Per la loro stesura si dovranno seguire i principi di massima contenuti nel volume *Saper comunicare: cenni di scrittura tecnico scientifica*, pubblicato dall'Ateneo nel 1993. In particolare, in ogni relazione dovrà essere presente l'*indice* con l'adeguato livello di dettaglio. Questo deve contenere quanto meno lo *scopo* e la *bibliografia* e la lista dei *simboli*. Oltre agli aspetti sostanziali anche quelli formali di presentazione devono essere curati.

Il primo giorno di lezione il docente fornirà dettagliate istruzioni sui contenuti ed i tempi di consegna delle seguenti esercitazioni:

1. Costituzione di un prototipo di banca dati incidenti e analisi di pericolosità.
2. Applicazioni delle differenti metodologie di analisi dei rischi.
3. Elaborazione di una specifica per omologazione di un prototipo.
4. Analisi delle relazioni cause - effetti su un componente di macchina uscito di servizio.
5. Relazione dettagliata su un tema ambientale o di sicurezza di interesse dell'allievo.

BIBLIOGRAFIA

Parte del materiale didattico sarà messo a disposizione durante il corso.

Norme per la prevenzione degli infortuni.

N. Piccinini, *Affidabilità e sicurezza nell'industria chimica*, SCCFQIM, Barcellona, 1985.

S. Messina, N. Piccinini, G. Zappellini, *Valutazione probabilistica di rischio*, 3ASI.

D.A. Crowl, J.F. Louvar, *Chemical process safety*, Prentice-Hall, 1990.

ESAME

L'esame, costituito da uno scritto e un orale, verte esclusivamente sul programma svolto a lezione, che pertanto può subire variazioni di anno in anno. Lo scritto è relativo solo alle applicazioni delle metodologie sull'analisi dei rischi (durata della prova: 3 ore; sono consultabili appunti, libri od esercizi svolti).

C 561 0**Tecnologia del petrolio e petrolchimica**

Anno:periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+1 (ore settimanali)

70+12 (nell'intero periodo)

Docente: Giuseppe Gozzelino

Il corso si propone di fornire una conoscenza di base ed attuale sugli aspetti chimici e tecnologici che caratterizzano la trasformazione del petrolio grezzo in intermedi impiegati nella industria chimica, e in prodotti finali. Attraverso analisi termodinamiche, cinetiche e processistiche si sviluppa una rassegna e studio delle tecnologie impiegate nella raffinazione del greggio e dei processi industriali sviluppati su grande scala per trasformare gli idrocarburi in derivati funzionalizzati di impiego generale e monomeri per la produzione di materiali polimerici.

REQUISITI

Il corso può essere seguito agevolmente se si hanno le conoscenze di base di chimica organica e di chimica industriale.

PROGRAMMA

Il petrolio come materia prima. [6 ore]

Aspetti storici ed economici dell'impiego industriale degli idrocarburi derivati dal petrolio. Prodotti industriali di derivazione petrolchimica.

Valutazione tecnologica delle miscele idrocarburiche. [6 ore]

Frazionamento del greggio. Composizione delle frazioni. Curve di distillazione. Proprietà tecnologiche. Rappresentazioni grafiche delle proprietà.

Processi di raffinazione. [6 ore]

Miscele idrocarburiche di interesse energetico e petrolchimico. Processi di depurazione delle miscele gassose per assorbimento e adsorbimento. Trattamenti di depurazione per idrogenazione dei liquidi.

Conversione delle frazioni liquide e gassose. [8 ore]

Catalizzatori per la interconversione di idrocarburi. Processi di: *cracking* catalitico, alchilazione, isomerizzazione, oligomerizzazione, *reforming* catalitico.

Prodotti petroliferi. [6 ore]

Specifiche dei prodotti. *Blending*. Additivazione. Inquinamento ambientale da uso di idrocarburi. Criteri ecologici e di sicurezza nella manipolazione di miscele idrocarburiche. Infiammabilità.

Produzione di olefine leggere. [9 ore]

Etilene. Monoolefine e diolefine da *steam cracking*. Modelli di reazione. Separazione e purificazione dei prodotti insaturi. Butadiene e isoprene da intermedi petrolchimici.

Produzione di aromatici. [5 ore]

Fonti di idrocarburi aromatici. Separazione delle miscele BTX. Processi per separazione e purificazione degli isomeri C8 aromatici. Interconversione di aromatici alchilati. Derivati degli aromatici.

Acetilene. [3 ore]

Produzione via carbochimica e petrolchimica, purificazione, usi.

Paraffine normali. [2 ore]

Processi di separazione dalle frazioni leggere.

Carbonio industriale. [3 ore]

Caratteristiche e tipologie. Processi per *coke* e *carbon black*. Applicazioni.

Intermedi petrolchimici. [12 ore]

Monomeri, solventi e intermedi derivati da olefine leggere mediante processi di idroformilazione, ossidazione selettiva, idratazione, alogenazione.

Prodotti finali. [4 ore]

Cenni sui processi di trasformazione dei petrolderivati in alcuni prodotti finiti di origine petrolchimica (detergenti, fibre, polimeri).

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono in applicazioni, eventualmente in laboratorio, dei concetti sviluppati a lezione e in visite a complessi industriali che sviluppano processi petrolchimici.

BIBLIOGRAFIA

C. Giavarini, A. Girelli, *Tecnologia del petrolio*, Siderea, Roma.

C. Giavarini, A. Girelli, *Petrochimica*, Siderea, Roma.

Traccia di tutto il corso che il docente consegna agli studenti all'inizio dello stesso.

C 570 0**Tecnologie industriali (tessili)**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)
50+50 (nell'intero periodo)

Docente: Francantonio Testore

Il corso si propone di studiare i principali processi tecnologici in cui si articola la trasformazione delle fibre e dei fili in tessuto finito, i cicli di lavorazione e le condizioni ambientali per il loro razionale svolgimento, e di mettere i giovani futuri ingegneri a contatto con la realtà industriale per mezzo di visite a stabilimenti e laboratori e di esercitazioni su problemi pratici.

PROGRAMMA

L'insegnamento si divide in tre parti principali, concernenti a grandissime linee la formazione del filato, la formazione di superfici tessili piane, la nobilitazione dei filati e dei tessuti, oltre ad alcuni argomenti complementari. Di ciascuna parte vengono illustrate le esigenze di carattere tecnologico che influenzano la progettazione, il *layout*, le condizioni ambientali.

Formazione del filato

Classificazione delle fibre. Tecnologia della cardatura, della pettinatura, della filatura. Ciclo cardato e pettinato per fibre a taglio laniero ed a taglio cotoniero. Trattamenti tessili ai cavi di filatura chimica (*tow*) e di fili continui artificiali e sintetici (torcitura, testurizzazione, ecc.). Operazioni successive alla filatura.

Tecnologia generale di tessitura

Preparazione dell'ordito. Principali tipi di telai, tessuti a trama e catena, a maglia, non tessuti.

Nobilitazione

Rifinitone, classificazione e scopi delle principali operazioni. Finissaggio dei tessuti lanieri, cotonieri, serici, di fili sintetici. Tintura e stampa, cenni sulle fasi dei cicli e sulle principali macchine.

Analisi di laboratorio e controlli in reparto

Controlli tecnologici, illustrazione delle prove più importanti (scopi, metodologia, apparecchiature, ecc.) che si compiono su fibre, fili e filati, tessuti.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni alternano visite e prove sperimentali presso aziende tessili, chimico-tessili e meccano-tessili e presso laboratori pubblici e privati, alla elaborazione presso il Politecnico dei risultati sperimentali e nella discussione delle relazioni compilate con i dati raccolti.

BIBLIOGRAFIA

F. Testore, *Tecnologia della filatura*, Vol. 1 e 2, Elsa, 1975.
Manuale di tecnologia tessile, Cremonese, Roma, 1981.
Bollettini dell'International Textile Service, Zurigo.

Journal of the Textile Institute, Manchester.

F. Testore, *Nel segno dell'ITMA 83*, Nuove Tecniche Editoriali, Milano, 1984.

F. Testore, *Quo vadis, mecatronic ITMA 87*, NTE, Milano, 1988.

F. Testore, *Dispense di Tecnologie industriali tessili*, 1993-95.

ESAME

Gli esami sono svolti oralmente, della durata di un'ora circa. Generalmente allo studente vengono rivolte tre domande sugli argomenti illustrati durante il corso; egli deve anche essere in grado di schizzare le macchine e le apparecchiature oggetto di domanda. Inoltre egli deve dimostrare di conoscere bene cicli e macchinari delle aziende di cui ha redatto le relazioni successivamente alle visite.

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

70+40 (nell'intero periodo)

Docente: Mario Rosso

Il corso è volto all'approfondimento dei processi e delle tecnologie di formatura impiegate per la fabbricazione di pezzi finiti. In particolare vengono studiati e confrontati i processi di deformazione plastica, di fonderia e di metallurgia delle polveri. Si considerano infine le tecniche di giunzione, in quanto complementari alle precedenti tecnologie. Approfonditi i principi fondamentali su cui si basano le predette tecnologie, vengono esaminati i processi e gli impianti utilizzati, le classi di materiali idonei ai singoli processi ed i rispettivi settori di applicazione.

Il corso non trascura gli aspetti legati alla difettologia ed al controllo qualità, riferiti sia ai processi che ai prodotti finiti.

Uno stretto contatto con le realtà industriali più significative, esplicantesi anche con visite appositamente programmate, fornisce un contenuto pratico al corso e favorisce un migliore aggiornamento su evoluzione ed innovazione tecnologica.

REQUISITI

È necessaria la conoscenza degli argomenti di carattere metallurgico trattati nei corsi fondamentali.

PROGRAMMA

Deformazione plastica. [10 ore]

Richiami di teoria della plasticità, criteri di scorrimento e meccanismi di deformazione. Principali processi di deformazione plastica e stati di tensione applicati. Fenomeni influenti: temperatura, incrudimento, velocità di deformazione, superplasticità, deformazione non uniforme, attrito, lubrificazione e lubrificanti impiegabili.

Processi di deformazione. [26 ore]

Fucinatura libera e in stampo chiuso, stampaggio a caldo, a semicaldo ed a freddo, stampaggio di precisione. Progettazione degli stampi. Estrusione diretta ed inversa. Trafilatura di tondi, fili e tubi. Laminazione a caldo ed a freddo, fenomeni nell'arco di contatto. Tensioni residue e difetti più comuni dopo lavorazione.

Formatura delle lamiere sottili. [8 ore]

Imbutitura, stiroimbutitura, curvatura e tranciatura. Valutazione degli sforzi, prove di imbutitura e criteri per valutare i limiti di formabilità. Coefficienti di anisotropia.

Fonderia. [16 ore]

Richiami ai principi di solidificazione delle leghe; leghe da fonderia. Diagramma di flusso e ciclo di lavorazione tipico di una fonderia. Modelli: tipi, progettazione e costruzione. Forme a perdere e permanenti, loro progettazione. Terre da fonderia e processi di formatura con sabbia. Anime e loro fabbricazione con processi a scatola calda ed a scatola fredda, ramolaggio. Processi speciali di formatura: a guscio, in vuoto, magnetica. Processo Policast. Fonderia di precisione. Forme permanenti: conchiglia,

pressocolata e colata centrifuga. Formatura di leghe e compositi allo stato semisolido: processi tipo Rheocasting e Thixoforming. Lavorazioni di finitura e controllo dei getti.

Metallurgia delle polveri. [12 ore]

Analisi del ciclo completo di produzione dei sinterizzati. Polveri: tipi e caratteristiche derivanti dal processo di fabbricazione. Miscelazione, compattazione e relativi impianti. Forme limiti ottenibili. Aspetti termodinamici del processo di sinterizzazione, sinterizzazione attivata, forni e atmosfere di sinterizzazione. Processi particolari di compattazione, pressatura isostatica a freddo ed a caldo, *powder injection molding*. Lavorazioni secondarie dei sinterizzati: trattamenti termici, calibrazione, infiltrazione e impregnazione. Controllo, finitura e applicazioni dei sinterizzati.

Costi. [3 ore]

Confronti tra le differenti tecnologie, alternative e criteri di scelta. Ottimizzazione tecnico-economica ed indici di costo.

Tecniche di giunzione. [5 ore]

Concetto di saldabilità e metallurgia della saldatura. Saldatura ad arco, a scoria conduttrice, a resistenza, a frizione, a gas, a laser ed a plasma. Brasatura. Giunzione mediante collanti.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula consistono nello sviluppo di esempi applicativi e di calcolo sugli argomenti oggetto delle lezioni. Comprendono calcoli relativi a stati di tensione ed alla valutazione degli sforzi necessari per un determinato processo di deformazione plastica, calcoli di forze e potenze richieste, scelta dei tipi di impianti utili Per i diversi processi studiati.

Per quanto riguarda i processi di fonderia: calcolo di materozze, attacchi e canali di colata, baricentro termico, progettazione delle forme.

Determinazione degli sforzi per la compattazione delle polveri e scelta delle presse. Calcolo di atmosfere e tempi di sinterizzazione.

Analisi economica e valutazione dei costi.

Le prove in laboratorio riguardano le caratteristiche di formabilità e microstrutturali dei materiali assoggettati alle diverse tecnologie ed osservazione e analisi di pezzi finiti.

BIBLIOGRAFIA

G. Dieter, *Mechanical metallurgy*, McGraw-Hill, Tokio, 1988.

G. Mazzoleni, *Tecnologia dei metalli. Vol. II, Fonderia*, UTET, Torino, 1980.

E. Mosca, *Metallurgia delle polveri*, AMMA, Torino, 1983.

Appunti del corso e fotocopie dei lucidi proiettati a lezione.

C 585 0**Teoria dello sviluppo dei
processi chimici**

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)
42+42 (nell'intero periodo)

Docente: Antonello Barresi

Vengono illustrati i criteri e la metodologia per lo sviluppo di un processo, mediante l'individuazione e l'analisi tecnica ed economica delle diverse alternative. Viene analizzata approfonditamente in particolare la prima fase del progetto, quella del *conceptual design*, che conduce alla stesura dello schema di processo. Sono anche trattati i metodi per lo studio e la quantificazione degli schemi di processo mediante le tecniche dell'analisi dei sistemi, e per l'individuazione delle possibilità e opportunità di modifiche e miglioramenti dello schema stesso, e dell'incentivo economico connesso. Vengono infine trattate le tecniche per la valutazione della redditività dei processi con cenni sui metodi di ottimizzazione.

REQUISITI

Le nozioni impartite nei corsi di *Principi di ingegneria chimica* e di *Impianti chimici*.

PROGRAMMA

Introduzione. [10 ore]

Aspetti creativi del *process design*. Sviluppo di nuovi processi.

Procedura di sviluppo della progettazione tecnologica. Tipi di stime progettuali e loro costo. Schemi di principio, schemi quantificati schemi tecnologici.

Confronto di processi e considerazioni generali di progetto. Cenni di ottimizzazione.

La tecnica del PERT.

Analisi dei costi e valutazione di redditività. [12 ore]

Analisi dei costi: flusso di denaro e produttività critica; costo totale di investimento e ammortamento.

Redditività di un capitale investito. Criteri di redditività.

Analisi decisionali.

Valutazione dei costi di di capitale fisso. Metodi *short cut*; metodi di Zevnik e Buchanan, Allen e Page, Taylor; metodi di Lang, Chilton; Miller; metodo di Guthrie.

Confronto dei metodi e stima del capitale circolante.

Stima dei costi nell'industria di processo.

Struttura dei costi.

Sviluppo del conceptual design e valutazione del potenziale economico. [12 ore]

Approccio gerarchico al *conceptual design*.

Sviluppo del *conceptual design* e tracciamento del *flow sheet* migliore: analisi di un *case study* relativo ad un processo petrolchimico:

- informazioni iniziali; scelta fra processo continuo e processo *batch*;
- struttura *input-output* del *flowsheet*; variabili di progetto, bilancio globale di materia, costo dei flussi, alternative di processo;

- struttura del ricircolo;
- sistemi di separazione (in fase vapore e in fase liquida);
- integrazione energetica

Diagrammi di costo e *screening* delle alternative.

Estensione della metodologia del *conceptual design* a processi diversi da quelli petrolchimici.

Ottimizzazione preliminare del processo. Modelli di costo.

Analisi della operabilità e della controllabilità del sistema.

Quantificazione degli schemi di flusso e analisi dei sistemi. [8 ore]

Metodo dei grafi. Valutazione dei gradi di libertà.

Uso delle matrici di sostituzione.

Cenni sull'uso del CAD.

ESERCITAZIONI

Il corso si sviluppa con lezioni ed una serie di esercitazioni guidate nelle quali viene sviluppato lo studio di fattibilità di un impianto petrolchimico esemplificando e applicando gli aspetti teorici svolti a lezione. Nella seconda parte del corso gli studenti sviluppano e analizzano a piccoli gruppi diverse alternative, utilizzando il laboratorio informatico.

Design preliminare di un processo. Stesura dei report formali e informali. Ottimizzazione. Valutazione del costo di impianto e redditività del processo. Gestione dei grafi. [8 ore]

Sviluppo del *conceptual design* del processo HDA; valutazione del potenziale economico e scelta delle alternative. [16 ore]

Esercitazione a gruppi al laboratorio informatico, con studio di fattibilità di un processo e stesura dello schema di processo semplificato. [20 ore]

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

J.M. Douglas, *Conceptual design of chemical processes*, McGraw-Hill, Singapore, 88.

Dispense ed altro materiale fornito dal docente.

Testi ausiliari:

M.S. Peters, K.D. Timmerhaus, *Plant design and economics for chemical engineers*, McGraw-Hill, New York, 1968.

A. Monte, *Elementi di impianti industriali. Vol. 1.*, Cortina, Torino, 1982.

F.C. Jelen, *Cost and optimization engineering*, McGraw-Hill, New York, 1970.

D.M. Himmelblau, K.B. Bischoff, *Process analysis and simulation: deterministic systems*, Wiley, New York, 1968.

W. Neri, *Progettazione e sviluppo degli impianti chimici. Vol. 1*, Vallecchi, Firenze, 70.

R.K. Sinnott, *Chemical engineering design*. In: Coulson & Richardson, *Chemical engineering*, 2nd ed., Pergamon, Oxford, 1993.

ESAME

Esame orale; la relazione presentata viene discussa in sede d'esame e concorre alla valutazione finale.

Indici alfabetici per insegnamento e per docente

ANALISI MATEMATICA I C0231 CAIRE LUISELLA	13
ANALISI MATEMATICA II C0232 MASCARELLO MARIA	15
APPLICAZIONI INDUSTRIALI ELETTRICHE C0290 PESSINA GAETANO	17
CALCOLO NUMERICO C0510 BARATELLA PAOLA	18
CATALISI INDUSTRIALE C0590 IANNIBELLO ANTONIO	67
CHIMICA I C0621 SCAVINO GIORGIO	20
CHIMICA II (R) C0624 FERRERO FRANCO	22
CHIMICA INDUSTRIALE I C0661 SARACCO GIOVANNI BATTISTA	24
CHIMICA INDUSTRIALE II/SICUREZZA E PROTEZI. AMB. PROC. CHIMICI (I) C0665 PICCININI NORBERTO	26
CHIMICA ORGANICA (R) C0694 FERRERO FRANCO	28
CORROSIONE E PROTEZIONE DEI MATERIALI METALLICI C0910 MAJA MARIO	69
COSTRUZIONE DI MACCHINE / DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE (I) C0945 ROCCATI GIOVANNI	30
DINAMICA DEGLI INQUINANTI R1220 GENON GIUSEPPE	71
DINAMICA E CONTROLLO DEI PROCESSI CHIMICI C1300 VANNI MARCO	72
ELEMENTI DI MECCANICA TEORICA E APPLICATA C1660 D'ALFIO NICOLO'	32
ELETTROCHIMICA E TECNOLOGIE ELETTROCHIMICHE C1680 SPINELLI PAOLO	74
ELETTROMETALLURGIA C1700 DE BENEDETTI BRUNO	76
ELETTRONICA APPLICATA C1710 GREGORETTI FRANCESCO	35
FISICA I C1901	

MIRALDI ELIO	36
FISICA II C1902	
TROSSI LAURA.....	39
FONDAMENTI DI INFORMATICA C2170	
REBAUDENGO MAURIZIO.....	42
GEOMETRIA C2300	
RIVOLO MARIA TERESA.....	45
IMPIANTI BIOCHIMICI C2590	
SASSI GUIDO.....	78
IMPIANTI CHIMICI E PROCESSI DELL'INDUSTRIA ALIMENTARE C2610	
CONTI ROMUALDO.....	80
IMPIANTI CHIMICI I C2601	
CONTI ROMUALDO.....	47
IMPIANTI CHIMICI II / INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE (I) C2605	
SPECCHIA VITO.....	49
IMPIANTI DI TRATTAMENTO DEGLI EFFLUENTI INQUINANTI I C2661	
CHIAMPO FULVIA.....	82
IMPIANTI DI TRATTAMENTO DEGLI EFFLUENTI INQUINANTI II C2662	
SPECCHIA VITO.....	84
IMPIANTI METALLURGICI E2740	
ROSSO MARIO.....	86
ISTITUZIONI DI ECONOMIA C3040	
ROSSO LORETTA.....	51
MACCHINE C3110	
ANDRIANO MATTEO.....	52
METALLURGIA C3420	
DE BENEDETTI BRUNO.....	54
METALLURGIA FISICA C3430	
DE BENEDETTI BRUNO.....	88
PRINCIPI DI INGEGNERIA BIOCHIMICA C3980	
RUGGERI BERNARDO.....	90
PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA I C3991	
BALDI GIANCARLO.....	56
PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II / CINETICA CHIMICA APPLICATA (I) C3995	
SICARDI SILVIO.....	58
PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA III C3993	
BALDI GIANCARLO.....	92
PROCESSI BIOLOGICI INDUSTRIALI C4030	
GENON GIUSEPPE.....	94
PROCESSI DI PRODUZIONE DEI MATERIALI MACROMOLECOLARI C4050	
GOZZELINO GIUSEPPE.....	96
PROCESSI ELETTROCHIMICI C4070	
PENAZZI NERINO.....	98

PROCESSI INDUSTRIALI DELLA CHIMICA FINE C4080 FERRERO FRANCO	100
PROGETTAZIONE DI APPARECCHIATURE DELL'INDUSTRIA CHIMICA C4170 ROVERO GIORGIO	102
REATTORI CHIMICI C4450 MAZZARINO ITALO	104
SCIENZA DELLE COSTRUZIONI C4600 ALGOSTINO FRANCO	60
SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI CERAMICI C4630 AMATO IGNAZIO	106
SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI POLIMERICI II E4682 PRIOLA ALDO	108
SIDERURGIA C4780 BURDESE AURELIO	110
TECNICA DELLA SICUREZZA AMBIENTALE C5440 PICCININI NORBERTO	112
TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA C5570 APPENDINO PIETRO	62
TECNOLOGIA DEL PETROLIO E PETROLCHIMICA C5610 GOZZELINO GIUSEPPE	114
TECNOLOGIE INDUSTRIALI (TESSILI) C5700 TESTORE FRANCAANTONIO	116
TECNOLOGIE METALLURGICHE C5710 ROSSO MARIO	118
TEORIA DELLO SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI C5850 BARRESI ANTONELLO	120
TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA/ELETTROCHIMICA (I) C5975 MAJA MARIO	65

A

ALGOSTINO FRANCO dip. Ing. strutturale tel. 4848 C4600 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	60
AMATO IGNAZIO dip. Scienza dei materiali e ing. chimica tel. 4667 Ricevimento = lunedì 8.30-10.30 C4630 SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI CERAMICI	106
ANDRIANO MATTEO dip. Energetica tel. 4409 C3110 MACCHINE	52
APPENDINO PIETRO dip. Scienza dei materiali e ing. chimica tel. 4668 C5570 TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA	62

B**BALDI GIANCARLO**

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4644 e-mail baldi@polito.it

C3991 PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA I	56
C3993 PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA III	92

BARATELLA PAOLA

dip. Matematica tel. 7559 e-mail baratella@polito.it

C0510 CALCOLO NUMERICO	18
------------------------------	----

BARRESI ANTONELLO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4658

C5850 TEORIA DELLO SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI	120
--	-----

BURDESE AURELIO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4676

C4780 SIDERURGIA	110
------------------------	-----

C**CAIRE LUISELLA**

dip. Matematica tel. 7512 e-mail luisella@polito.it

C0231 ANALISI MATEMATICA I	13
----------------------------------	----

CHIAMPO FULVIA

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4685

Ricevimento = lunedì 16.30-18.30

C2661 IMPIANTI DI TRATTAMENTO DEGLI EFFLUENTI INQUINANTI I	82
--	----

CONTI ROMUALDO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4646

C2601 IMPIANTI CHIMICI I	47
--------------------------------	----

C2610 IMPIANTI CHIMICI E PROCESSI DELL'INDUSTRIA ALIMENTARE	80
---	----

D**D'ALFIO NICOLO'**

dip. Meccanica tel. 6928

Ricevimento = martedì 10.30-12.30

C1660 ELEMENTI DI MECCANICA TEORICA E APPLICATA	32
---	----

DE BENEDETTI BRUNO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4618

C1700 ELETTROMETALLURGIA	76
--------------------------------	----

C3420 METALLURGIA	54
-------------------------	----

C3430 METALLURGIA FISICA	88
--------------------------------	----

F**FERRERO FRANCO**

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4653

C0624 CHIMICA II (R)	22
----------------------------	----

C0694 CHIMICA ORGANICA (R)	28
----------------------------------	----

C4080 PROCESSI INDUSTRIALI DELLA CHIMICA FINE	100
---	-----

G**GENON GIUSEPPE**

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4630

Ricevimento = F.Marchese tel. 4679

C4030 PROCESSI BIOLOGICI INDUSTRIALI	94
R1220 DINAMICA DEGLI INQUINANTI	71

GOZZELINO GIUSEPPE

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4652

Ricevimento = mercoledì 16.30-17.30

C4050 PROCESSI DI PRODUZIONE DEI MATERIALI MACROMOLECOLARI	96
C5610 TECNOLOGIA DEL PETROLIO E PETROLCHIMICA	114

GREGORETTI FRANCESCO

dip. Elettronica tel. 4081

Ricevimento = lunedì 14.30-16.30, o su appuntamento.

C1710 ELETTRONICA APPLICATA	35
-----------------------------------	----

I**IANNIBELLO ANTONIO**

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4684

Ricevimento = mercoledì, ore 14-16.

C0590 CATALISI INDUSTRIALE	67
----------------------------------	----

M**MAJA MARIO**

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4638

C0910 CORROSIONE E PROTEZIONE DEI MATERIALI METALLICI

C5975 TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA/ELETTROCHIMICA (I)

MASCARELLO MARIA

dip. Matematica tel. 7511 e-mail mascarello@polito.it

C0232 ANALISI MATEMATICA II	15
-----------------------------------	----

MAZZARINO ITALO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4655

C4450 REATTORI CHIMICI	104
------------------------------	-----

MIRALDI ELIO

dip. Fisica tel. 7339

Ricevimento = lunedì 14.30-16.30

C1901 FISICA I	36
----------------------	----

P**PENAZZI NERINO**

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4640

C4070 PROCESSI ELETTROCHIMICI	98
-------------------------------------	----

PESSINA GAETANO

dip. Ing. elettrica industriale tel. 7149

C0290 APPLICAZIONI INDUSTRIALI ELETTRICHE	17
---	----

PICCININI NORBERTO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4645

Ricevimento = martedì 16.30-18.30 (I.Mazzarino tel. 4555 giovedì 16.30-18.30. G.Sassi tel. 4654 martedì 15.30-17.30)

C0665 CHIMICA INDUSTRIALE II/SICUREZZA E PROTEZI. AMB. PROC. CHIMICI (I)26	
C5440 TECNICA DELLA SICUREZZA AMBIENTALE	112

PRIOLA ALDO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4656 e-mail priola@polito.it

Ricevimento = lunedì 14.30-16.30

E4682 SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI POLIMERICI II 108

R**REBAUDENGO MAURIZIO**

dip. Automatica e informatica tel. 7067

C2170 FONDAMENTI DI INFORMATICA 42

RIVOLO MARIA TERESA

dip. Matematica tel. 7546

C2300 GEOMETRIA 45

ROCCATI GIOVANNI

dip. Meccanica tel. 6932

C0945 COSTRUZIONE DI MACCHINE / DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE (I) 30

ROSSO LORETTA

dip. Sistemi di produz. e economia dell'az. tel. 7921

C3040 ISTITUZIONI DI ECONOMIA 51

ROSSO MARIO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4664

Ricevimento = venerdì 8.30-10.30 o su appuntamento

C5710 TECNOLOGIE METALLURGICHE 118

E2740 IMPIANTI METALLURGICI 86

ROVERO GIORGIO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4649

C4170 PROGETTAZIONE DI APPARECCHIATURE DELL'INDUSTRIA CHIMICA 102

RUGGERI BERNARDO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4647 e-mail ruggeri@polito.it

C3980 PRINCIPI DI INGEGNERIA BIOCHIMICA 90

S**SARACCO GIOVANNI BATTISTA**

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 6727

C0661 CHIMICA INDUSTRIALE I 24

SASSI GUIDO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4625

C2590 IMPIANTI BIOCHIMICI 78

SCAVINO GIORGIO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4675

C0621 CHIMICA I 20

SICARDI SILVIO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4648 e-mail sicardi@polito.it

C3995 PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II / CINETICA CHIMICA APPLICATA (I) 58

SPECCHIA VITO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4650 e-mail specchia@polito.it

Ricevimento = venerdì 8.30-9.30

C2605 IMPIANTI CHIMICI II / INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE (I) 49

C2662 IMPIANTI DI TRATTAMENTO DEGLI EFFLUENTI INQUINANTI II 84

SPINELLI PAOLO

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4643 e-mail spinelli@polito.it

C1680 ELETTROCHIMICA E TECNOLOGIE ELETTROCHIMICHE 74

*T***TESTORE FRANCAANTONIO**

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 4659

C5700 TECNOLOGIE INDUSTRIALI (TESSILI)..... 116

TROSSI LAURA

dip. Fisica tel. 7325

C1902 FISICA II..... 39

*V***VANNI MARCO**

dip. Scienza dei materiali e ing.chimica tel. 5641

C1300 DINAMICA E CONTROLLO DEI PROCESSI CHIMICI..... 72