

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE

del corso di laurea in ingegneria nucleare. Il corso è stato elaborato sulla base delle indicazioni del Consiglio Nazionale delle Ricerche e del Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica, tenendo conto delle esigenze del sistema produttivo nazionale e delle risorse finanziarie disponibili per la ricerca e l'istruzione.

Il corso di laurea in ingegneria nucleare è articolato in quattro anni di studio, con un totale di 240 crediti formativi universitari (CFU). Il primo anno è dedicato alle discipline fondamentali della fisica, della chimica e della matematica. Il secondo anno è dedicato alle discipline fondamentali dell'ingegneria, con particolare riferimento alla fisica nucleare e alla termodinamica. Il terzo anno è dedicato alle discipline specialistiche, con particolare riferimento alla progettazione e alla costruzione di reattori nucleari. Il quarto anno è dedicato alle attività di tesi e di stage.

La categoria di ingegneri che la laurea nucleare ambisce formare è, in questa materia, inconsueta. Oltre ai fondamenti dell'ingegneria convenzionale, essi dovrebbero conoscere un po' più a fondo dei colleghi le leggi fisiche della struttura del nucleo, dei legami atomici nelle molecole e nei cristalli, l'interazione tra il campo elettromagnetico e le particelle elementari, con l'obiettivo di poter valutare, gestire e eventualmente perfezionare macchine, materiali e sistemi di controllo, per il funzionamento le leggi di cui sopra sono fondamentali e non soltanto accessorie.

Dato che prestazioni, affidabilità e sicurezza degli impianti nucleari devono poter raggiungere livelli molto elevati, e che spesso non esiste ancora una netta delimitazione tra progresso della ricerca e realizzazione industriale, è evidente che nella propria formazione e professione l'ingegnere nucleare dovrà affrontare metodologie tecniche e di calcolo di una certa sofisticazione. È auspicabile che ne possa estendere in futuro l'applicazione ad altri settori della energetica e dell'ingegneria in generale.

Esiste inoltre, per così dire, una seconda anima dell'ingegneria nucleare, quella che le proviene dall'essere generata fin dall'origine in campi nei quali esiste una forte spinta all'innovazione. Ciò ha prodotto, nell'altezza e nel professionalismo nucleare, una maggiore propensione ed abitudine ad occuparsi di ricorrenze molto attuali della fisica applicata, dell'ingegneria avanzata, dei controlli, dei materiali, delle radiazioni, della sicurezza, ecc.

Ciò non deve tuttavia indurre chi si accinge a frequentare questa facoltà a considerarla in qualche modo una variante di un corso di laurea in fisica (Applicata). Qui la finalizzazione ingegneristico-impiantistica è netta e prevalente, a prescindere dal fatto che alcuni dei cinque indirizzi si presentano con una caratterizzazione apparentemente più teorica e con rilevanti implicazioni di tipo fisico e bio-matematico.

Gli indirizzi sono cinque, sufficientemente diversificati da rispondere alla maggior parte della domanda culturale degli allievi, ed orientati a dare una formazione professionale che permetta loro di trovare sbocco in qualcuno dei settori caratteristici dell'industria o dei laboratori di ricerca.

— Indirizzo termoidraulico. L'indirizzo termoidraulico è impiantistico, con forte riferimento alla progettazione, costruzione ed esercizio degli impianti industriali di

CORSO DI LAUREA IN
INGEGNERIA
NUCLEARE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE

Dei corsi di laurea in Ingegneria, il Nucleare è senza dubbio tra quelli di più recente istituzione. Solo dopo la seconda guerra mondiale apparve chiaro nelle società maggiormente industrializzate che il problema energetico avrebbe condizionato lo sviluppo e che le riserve fossili non avrebbero tardato a rivalersi inadeguate alla crescente domanda.

Fra tutte le tecnologie di approvvigionamento energetico quella, ormai consolidata, dei reattori di potenza a fissione e quella, ancora in fase di ricerca e sviluppo, dei reattori a fusione apparvero, fin da quegli anni, le due principali, cui si potesse razionalmente demandare la soluzione del problema energetico mondiale, sia nel futuro immediato che lontano. Ciò almeno per quanto riguarda quella cospicua frazione del fabbisogno energetico totale, che viene utilizzata previa conversione in elettricità.

In base a queste considerazioni, a partire dalla fine degli anni '50, vennero istituiti anche in Italia, presso i Politecnici e numerose Facoltà di Ingegneria, i corsi di laurea in Ingegneria Nucleare. Nel loro ambito sono oggi sistematicamente approfonditi gli studi sugli aspetti impiantistici dei reattori di potenza cosiddetti provati, sia per quanto attiene alla specificità termotecnica e meccanica di questi impianti, dal punto di vista dell'ingegneria della produzione trasformazione energetica, sia per gli aspetti fisici, legati alla natura nucleare e non chimica della fonte primaria.

La categoria di ingegneri che la laurea nucleare ambirebbe formare è, in certa misura, inconsueta. Oltre ai fondamenti dell'impiantistica convenzionale, essi dovrebbero conoscere un po' più a fondo dei colleghi le leggi fisiche della struttura del nucleo, dei legami atomici nelle molecole e nei cristalli, l'interazione tra il campo elettromagnetico e le particelle elementari, coll'obiettivo di poter valutare, gestire e eventualmente perfezionare macchine, materiali e sistemi di controllo, per il cui funzionamento le leggi di cui sopra sono fondamentali e non soltanto accessorie.

Dato che prestazioni, affidabilità e sicurezza degli impianti nucleari devono poter raggiungere livelli molto elevati, e che spesso non esiste ancora una netta delimitazione tra progresso della ricerca e realizzazione industriale, è evidente che nella propria formazione e professione l'ingegnere nucleare dovrà affrontare metodologie teoriche e di calcolo di una certa sofisticazione. È auspicabile che ne possa estendere in futuro l'applicazione ad altri settori della energetica e dell'ingegneria in generale.

Esiste inoltre, per così dire, una seconda anima dell'ingegneria nucleare: quella che le proviene dall'essersi cimentata fin dall'origine in campi nei quali esisteva una forte spinta all'innovazione. Ciò ha prodotto, nell'allievo e nel professionista nucleare, una maggiore propensione ed attitudine ad occuparsi di ricerca, in molti settori della fisica applicata, dell'ingegneria avanzata, dei controlli, dei materiali, delle radiazioni, della sicurezza, ecc..

Ciò non deve tuttavia indurre chi si accinge a frequentare questa Facoltà a considerarla in qualche modo una variante di un corso di laurea in Fisica (Applicata). Qui la finalizzazione ingegneristico-impiantistica è netta e prevalente, a prescindere dal fatto che alcuni dei cinque indirizzi si presentino con una caratterizzazione apparentemente più teorica e con rilevanti implicazioni di tipo fisico e fisico-matematico.

Gli indirizzi sono cinque, sufficientemente diversificati da rispondere alla maggior parte della domanda culturale degli allievi, ed orientati a dare una formazione professionale che permetta loro di trovare sbocco in qualcuno dei settori caratteristici dell'industria o dei laboratori di ricerca.

— **Indirizzo termoidraulico.** L'indirizzo termoidraulico è impiantistico, cioè finalizzato alla progettazione, costruzione ed esercizio degli impianti nucleari di

potenza. Viene approfondito il funzionamento dell'impianto dal punto di vista termofluidodinamico per preparare alla progettazione termoidraulica del nocciolo, sia dei reattori termici che veloci, ed all'analisi della dinamica generale dell'impianto. Particolare rilievo viene dato allo studio degli incidenti ipotetici in un impianto nucleare, soprattutto dal punto di vista termoidraulico, per cui si studiano in modo dettagliato i problemi di scambio termico e moto dei fluidi connessi all'ebollizione e alla separazione di fase.

- **Indirizzo termomeccanico.** È finalizzato allo studio dell'impianto nucleare di potenza e dei suoi componenti principali dal punto di vista del progetto meccanico-strutturale e dell'affidabilità, in condizioni d'esercizio e di incidente. È posta particolare enfasi sui metodi numerici di calcolo delle strutture, sia in campo statico, sia in campo dinamico. La preparazione è finalizzata a svolgere attività professionale in settori in cui è richiesta una conoscenza dei moderni metodi di progettazione, anche non necessariamente in ambito nucleare.
- **Indirizzo neutronico.** Approfondisce gli aspetti essenziali della fisica dei reattori e delle neutroniva applicata, sia statica sia dinamica, con lo scopo di preparare alla progettazione neutronica delle centrali di potenza e a svolgere lavoro di ricerca applicata anche nel settore del ciclo di combustibile. Vengono in particolare approfonditi, anche con metodi di teoria del trasporto, quei problemi connessi con la dinamica neutronica spaziale che sono fondamentali per il calcolo della potenza locale nei transitori di incidente.
- **Indirizzo dinamica e controllo.** Analizza i problemi della stabilità, della regolazione e del controllo degli impianti di potenza nel loro complesso, con particolare riguardo alla protezione e sicurezza nucleare. Sono affrontati i criteri e i metodi per la progettazione dei sistemi di controllo e regolazione negli impianti termoidraulici, convenzionali e non, e per lo studio del comportamento dinamico di sistemi complessi.
- **Indirizzo fisico strumentale.** È orientato alla formazione di tecnici e ricercatori in vari settori della fisica applicata, in modo particolare della fisica del nucleo e degli stati aggregati della materia. Fornisce inoltre strumenti di base per operare nel settore energetico in senso lato, approfondendo problematiche fisiche non solo dell'energia nucleare convenzionale, ma dei plasmi (fusione) e della conversione fotovoltaica dell'energia solare. Fornisce infine una preparazione specialistica nel campo delle radiazioni e della strumentazione fisica.

È previsto inoltre che gli allievi nucleari, mediante una appropriata scelta di corsi esistenti in statuto, possano conseguire una preparazione, almeno propedeutica, sia nel settore dei materiali, energetici e non, rilevanti per l'industria nucleare, sia in quello della fisica dei plasmi e dei reattori a fusione.

PROGRAMMI

Seguono in ordine alfabetico i programmi degli insegnamenti ufficiali del Corso di Laurea.

Degli insegnamenti ufficiali di altro Corso di Laurea, ma previsti nel piano individuale, è riportato il solo elenco alfabetico con i relativi riferimenti:

- IN168** Fisica dei fluidi e magnetofluidodinamica
vedi Corso di laurea in Ingegneria Aeronautica
- IN170** Fisica dello stato solido
vedi Corso di laurea in Ingegneria Elettronica
- IN259** Materiali pr l'elettrotecnica
vedi Corso di laurea in Ingegneria Elettrotecnica
- IN535** Meccanica superiore per ingegneri
vedi Corso di laurea in Ingegneria Meccanica
- IN284** Metallurgia fisica
vedi Corso di laurea in Ingegneria Chimica
- IN565** Tecnica della programmazione
vedi Corso di laurea in Ingegneria Elettrotecnica
- IN411** Tecnologia dei materiali metallici
vedi Corso di laurea in Ingegneria Meccanica
- IN570** Teoria e pratica delle misure
vedi Corso di laurea in Ingegneria Elettronica

BIBLIOTECA

Opere relative agli argomenti sviluppati nelle lezioni con applicazioni d'interesse particolare (LAIS).

TESTI CONSIGLIATI

1. G. Biondi, *Lezioni di matematica I*, Ed. Liguori & Bella, Taranto, 1981.

2. G. Scarabotti, *Appunti alle lezioni di matematica I*, Cies, Taranto, 1981.

3. G. Scarabotti, *Lezioni di Analisi I*, Ed. Liguori & Bella, Taranto, 1981.

IN459 ANALISI MATEMATICA I

Prof. Anna Rosa SCARAFIOTTI ABETE DIP. di Matematica

I ANNO	Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
1° PERIODO DIDATTICO	Annuale (ore)	84	56	—
Corso di Laurea: ING. NUCLEARE	Settimanale (ore)	6	4	—

Finalità del corso è fornire gli strumenti di base del calcolo differenziale, propedeutici ai corsi della Facoltà di Ingegneria, utilizzando il linguaggio omoderno della matematica ed insegnando come affrontare i problemi con rigore e spirito critico. Il corso si svolgerà con lezioni ed esercitazioni.

Nozioni propedeutiche: le nozioni fondamentali di algebra, di geometria, di trigonometria, secondo i programmi di scuola secondaria superiore.

PROGRAMMA

Teoria degli insiemi: nozioni di base.

Applicazioni fra insiemi: definizioni e proprietà.

L'insieme dei numeri reali e l'insieme dei numeri complessi.

Funzioni elementari di variabile reale e di variabile complessa.

Successioni, limiti di successioni.

Le proprietà locali delle funzioni reali di variabile reale: continuità, limiti, derivabilità. Confronto locale di funzioni.

Teoremi fondamentali del calcolo differenziale e le loro applicazioni.

Approssimazione locale di funzioni: formula di Taylor.

Cenni sulla approssimazione globale di funzioni reali di variabile reale.

Ricerca degli zeri di una funzione reale di variabile reale.

Teoria dell'integrazione: definizione di integrale indefinito, proprietà.

Regole di integrazione; l'integrale definito e le sue proprietà.

I teoremi della media; applicazioni numeriche, formula dei trapezi.

Integrazione delle funzioni elementari.

Sistemi dinamici discreti, sistemi dinamici continui, equazioni differenziali ordinarie.

ESERCITAZIONI

Esercizi relativi agli argomenti sviluppati nelle lezioni con applicazioni d'utilizzo di strumenti informatici (LAIB).

TESTI CONSIGLIATI

G. Geymonat, *Lezioni di matematica I*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1981.

A.R. Scarafiotti, *Appunti alle lezioni di analisi matematica I*, Clut, Torino, 1980.

A.R. Scarafiotti, *14 settimane di Analisi I*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, nuova edizione, 1985/86.

IN460 ANALISI MATEMATICA II

Prof. Paola MORONI

DIP. di Matematica

II ANNO	Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
1° PERIODO DIDATTICO	Annuale (ore)	80	56	—
Corso di Laurea: ING. NUCLEARE	Settimanale (ore)	6	4	—

Il corso si propone di completare la formazione matematica di base dello studente, con particolare riferimento all'integrazione in più dimensioni, alla risoluzione delle equazione e dei sistemi differenziali ed ai metodi di sviluppi in serie.

Il corso comprende, oltre alle ore di lezione, ore di esercitazione.

Nozioni propedeutiche: si richiede allo studente il possesso dei metodi di calcolo e delle considerazioni di carattere teorico forniti dai corsi di Analisi matematica I e di Geometria.

PROGRAMMA:

1. Integrazione di funzioni di più variabili. Nozione di misura di un insieme e di integrale di una funzione. Formule di cambiamento di variabile. Solidi di rotazione.
2. Integrale di una funzione definita su una curva o una superficie. Superficie di rotazione.
3. Forme differenziali lineari. Nozione di forma esatta e di integrale di linea di una forma. Teorema di Green.
4. Campi vettoriali nello spazio. Rotore e divergenza di un campo. Flusso di un campo attraverso una superficie orientata. Teoremi di Gauss e Stokes.
5. Equazioni differenziali: esistenza e unicità della soluzione del problema di Cauchy. Alcune equazioni particolari. Equazioni e sistemi differenziali lineari; proprietà delle soluzioni; caso dei coefficienti costanti.
6. Serie numeriche: proprietà e criteri di convergenza.
7. Serie di funzioni. Diversi tipi di convergenza e criteri relativi. Serie di potenze; raggio di convergenza. Sviluppi di Taylor e Mac Laurin. Applicazioni al calcolo approssimato di integrali e alla risoluzione di equazioni differenziali.
8. Serie di Fourier. Proprietà e criteri di convergenza; esempi di analisi armonica.

ESERCITAZIONI

Parallelamente agli argomenti delle lezioni vengono svolti esercizi in aula e/o (se possibile) su calcolatore.

TESTI CONSIGLIATI

- P. Buzano, *Lezioni di matematica per allievi ingegneri*, vol. 3, Levrotto & Bella, Torino, 1976.
 Leschiutta - Moroni - Vacca, *Esercizi di matematica*, Levrotto & Bella, Torino, 1982.
 H.B. Dwight, *Tables of integrals and other mathematical data*, The Mac Millan Company, 1961.

IN041 CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE

Prof. Giovanni MONEGATO

DIP. di Matematica

IV ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Neutronico -

Dinamica e controllo

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

Es.

Lab.

80 50 —

6 4 —

Il corso ha lo scopo di preparare gli allievi soprattutto alla risoluzione numerica di modelli matematici con i mezzi del calcolo automatico. Gli allievi vengono inoltre addestrati alla programmazione scientifica con il linguaggio Fortran. Nel corso vengono affrontati i temi fondamentali del Calcolo numerico e la programmazione scientifica con il linguaggio Fortran.

Il corso si svolgerà con lezioni, esercitazioni e laboratorio (uso del calcolatore).

Nozioni propedeutiche: Analisi matematica I e II, Geometria.

PROGRAMMA

Rappresentazione dei numeri e operazioni aritmetiche in un calcolatore.

Errori, condizionamento di un problema e stabilità numerica di un algoritmo.

Risoluzione di sistemi di equazioni lineari. Metodo di Gauss, fattorizzazione LU e Choleski.

Metodi iterativi: Jacobi, Gauss-Seidel, SOR.

Calcolo degli autovalori e autovettori di matrici: metodi delle potenze e potenze inverse, trasformazioni di similitudine (Householder), caso delle matrici tridiagonali simmetriche.

Approssimazione di funzioni e di dati. Interpolazione polinomiale e funzioni spline. Metodo dei minimi quadrati.

Derivazione numerica.

Calcolo delle radici di equazioni: metodi di bisezione, secanti, Newton; metodi iterativi in generale.

Alcuni metodi per la risoluzione di sistemi di equazioni non lineari.

Integrazione numerica: formule di Newton-Cotes e Gaussiane. Polinomi ortogonali.

Equazioni differenziali ordinarie. Problemi con valori iniziali: metodi one-step e multistep.

Sistemi Stiff. Problemi con valori ai limiti: metodi alle differenze e shooting.

Equazioni differenziali alle derivate parziali: metodi alle differenze e dei residui pesati; cenni sui metodi degli elementi finiti.

ESERCITAZIONI

Breve presentazione degli elaboratori elettronici. Linguaggio Fortran. Analisi ed implementazione dei metodi numerici presentati nelle lezioni. Risoluzione di problemi.

LABORATORI

Un elaboratore elettronico è a disposizione (quotidianamente) degli studenti per la messa a punto e sperimentazione dei programmi di calcolo realizzati.

TESTI CONSIGLIATI

G. Monegato, *Calcolo numerico*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1985.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni sono dedicate all'approfondimento di alcuni argomenti trattati in lezione, all'uso del laboratorio e a calcoli relativi agli argomenti di ciascuna lezione. Esse vengono svolte dalla proiezione di film didattici.

IN042 CALCOLO STRUTTURALE DI COMPONENTI NUCLEARI

Prof. Renzo CIUFFI

DIP. di Meccanica

IV ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Termomeccanico

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez. Es.

52 32

4 2

Lab.

—

—

Il corso ha lo scopo di preparare strutturisti e progettisti di componenti meccanici per l'industria nucleare al calcolo ed alla costruzione, con riferimento sia ai metodi delle normative sia ai moderni procedimenti di calcolo su elaboratore.

Il corso si svilupperà in circa 52 ore di lezioni e 32 ore di esercitazioni.

Nozioni propedeutiche: Scienza delle costruzioni, Meccanica razionale, Disegno meccanico.

PROGRAMMA

Richiami di meccanica del continuo; integrazione numerica; soluzione dei sistemi lineari e loro significato fisico; calcolo sistematico delle strutture; caratterizzazione per integrazione diretta e mediante principio dei lavori virtuali; scrittura di rigidità e deformabilità; principio dei lavori virtuali a spostamenti assegnati; sistemi tubieri; travature; cilindri in parete spessa; piastre; gusci in campo membranale; effetti locali nei vessel, teoria di Coates; normativa ASME; gusci; elementi bidimensionali: triangolari, quadrangolari, elementi isoparametrici a 4 e 8 nodi, elementi assialsimmetrici isoparametrici, elemento piastra; problemi dinamici; frequenza proprie; calcolo di autovalori; analisi modale; integrazione al passo.

ESERCITAZIONI

Progetto di uno scambiatore di calore secondo le normative ASME.

TESTI CONSIGLIATI

M.M. Gola - A. Gugliotta, *Introduzione al calcolo strutturale sistematico*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1980.

IN465 CHIMICA

Prof. Cesare BRISI

DIP. di Scienza dei Materiali e Ingegneria
Chimica

I ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

Corso di Laurea: ING. NUCLEARE

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

90

6

Es.

45

3

Lab.

—

—

Il corso si propone di fornire le basi teoriche necessarie per la comprensione e l'interpretazione dei fenomeni chimici e di dare una breve rassegna delle proprietà degli elementi più comuni e dei loro principali composti. Esso si articola di conseguenza in tre parti: una di chimica generale alla quale vengono dedicate circa 60 ore di lezione; una di chimica inorganica (circa 20 ore di lezione) ed una di chimica organica (5-10 ore di lezione).

Il corso prevede 90 ore di lezione, 40 ore di esercitazione, 10 ore di proiezioni didattiche. Per seguire con profitto il corso sono sufficienti le nozioni di base relative alle leggi generali della chimica, alla simbologia e alla nomenclatura.

PROGRAMMA

Chimica generale: Sistemi omogenei ed eterogenei. Concetto di fase, di composto, di elemento. Leggi fondamentali della chimica. Teoria atomico-molecolare. Legge di Avogadro. Determinazione dei pesi atomici e molecolari. Concetto di mole. Calcoli stechiometrici.

Il sistema periodico degli elementi. Il modello atomico di Bohr. L'atomo secondo la meccanica quantista. Interpretazione elettronica del sistema periodico. I raggi X.

Legame ionico, covalente, metallico. Legami intermolecolari. Grado di ossidazione.

Isotopia. Energia di legame dei nucleoni. Radioattività. Fenomeni di fissione e di fusione nucleare.

Leggi dei gas. Dissociazione termica. Teoria cinetica dei gas. legge di Graham. Calore specifico dei gas.

Lo stato solido. Reticolo cristallino e cella elementare. Difetti reticolari. Soluzioni solide. Lo stato liquido. Equazione di Clausius-Clapeyron. Tensione di vapore delle soluzioni. Crioscopia. Pressione osmotica.

Energia interna ed entalpia. Effetto termico delle reazioni. Entropia ed energia libera di reazione. Velocità di reazione. Catalisi. Legge dell'azione di massa. Principio dell'equilibrio mobile.

Regola delle fasi. Diagrammi di stato a uno e due componenti. Applicazione della legge delle fasi agli equilibri chimici eterogenei.

Soluzioni di elettroliti. Elettrolisi. Costante di ionizzazione. Prodotto ionico dell'acqua. Acidi e basi. pH. Idrolisi. Prodotto di solubilità. Soluzioni tamponi. Potenziale d'elettrodo. Serie elettrochimica. Tensioni di decomposizione. Potenziali di ossido-riduzione.

Chimica inorganica: Proprietà e metodi di preparazione industriale dei seguenti elementi e dei loro principali composti: idrogeno, ossigeno, sodio, rame, calcio, zinco, alluminio, carbonio, silicio, azoto, fosforo, cromo, uranio, zolfo, manganese, alogeni, ferro.

Chimica organica: Cenni su idrocarburi saturi e insaturi e derivati alogenati; alcoli, aldeidi, chetoni, acidi organici, esteri, ammine, ammidi, nitrili; benzene e suoi omologhi, fenoli, nitroderivati, ammine aromatiche.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni sono dedicate all'ampliamento di alcuni argomenti oggetto di lezione, ad esperienze di laboratorio e a calcoli relativi agli argomenti di chimica generale. Esse vengono integrate dalla proiezione di film didattici.

TESTI CONSIGLIATI

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

M.J. Sienko - R.A. Plane, *Chimica: principi e proprietà*, Piccin, Padova.

C. Brisi, *Esercitazioni di Chimica*, Levrotto & Bella, Torino.

P. Silvestroni, *Fondamenti di Chimica*, Librerie Eredi Virginio Veschi, Roma.

L. Rosemberg, *Teoria e applicazioni di chimica generale*, Collane Schaum, Etas Kompass.

IN047 CHIMICA APPLICATA

Prof. Cesare BRISI

DIP. di Scienza dei Materiali e Ingegneria
Chimica

II ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

Corso di Laurea: ING. NUCLEARE

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

80

6

Es.

30

3

Lab.

15

—

Il corso verte sullo studio delle proprietà, dei metodi di elaborazione e delle caratteristiche d'impiego dei materiali di più comune utilizzazione nella pratica ingegneristica. Il corso si sviluppa su 80 ore di lezione; 25-40 ore di esercitazione e laboratorio. Nozioni propedeutiche: è indispensabile la conoscenza della chimica generale e inorganica e di alcune nozioni fondamentali di chimica organica, nonché dei concetti base della fisica. Esami propedeutici: Chimica, Fisica I.

PROGRAMMA

Acque per uso industriale. Determinazione, calcolo e metodi di abbattimento della durezza. Degasazione. Deionizzazione con resine scambiatrici. Metodi di distillazione. Elettrodialisi. Osmosi inversa. Cenni sulle acque potabili.

Combustione e combustibili. Potere calorifico. Aria teorica di combustione. Volume e composizione dei fumi. Calcolo dell'aria in eccesso. Temperatura teorica di combustione. Perdita al camino. Caratteristiche e metodi di elaborazione dei principali combustibili solidi, liquidi, gassosi. Carburanti. Lubrificanti.

Sistemi eterogenei. Regola delle fasi. Diagrammi di stato binari e ternari.

Materiali ceramici e refrattari. Refrattari silicei, silico-alluminosi, magnesiaci, cromitici, cromo-magnesiaci, grafitici. Saggi sui refrattari. Materiali ceramici di uso industriale.

Materiali leganti. Calce aerea e gesso d'opera. Cemento Portland, pozzolanico e d'alto forno: preparazione e caratteristiche chimico-fisiche. Meccanismi di idratazione. Cenni sui calcestruzzi. Vetro e vetroceramiche.

Materiali ferrosi. Produzione della ghisa d'alto forno. Diagrammi di stato ferro-cementite e ferro-grafite. Affinazione della ghisa. Trattamenti termici degli acciai. Cementazione e nitrurazione. Ghise da getto. Classificazione UNI. Cenni sugli acciai speciali.

Alluminio. Metallurgia. Principali leghe da getto e da bonifica.

Rame. Proprietà fisico-meccaniche. Ottoni e bronzi.

Materie plastiche. Polimeri e polimerizzazione. Principali tipi di resine termoplastiche e termoidurenti. Siliconi.

ESERCITAZIONI

Calcoli numerici e illustrazione di prove di laboratorio riguardanti gli argomenti sopra elencati.

LABORATORI

Saggi analitici e tecnologici su acque, combustibili, lubrificanti, materiali leganti e metalli.

TESTI CONSIGLIATI

C. Brisi, *Chimica applicata*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1981.

IN049 CHIMICA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI

Prof. Giovanni Battista SARACCO

DIP. di Scienza dei Materiali e Ingegneria
Chimica

III ANNO
1° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	70	14	20
Settimanale (ore)	5	1	4

Il corso intende illustrare i più importanti concetti della chimica industriale, in senso termodinamico e processistico, che formano la base per la definizione di sviluppo delle tecnologie industriali.

Una prima parte del corso, di tipo generale, tratta alcuni concetti di base in equilibri di fase e separazione, e ne sviluppa sia la definizione teorica, sia le modalità realizzative.

Una seconda parte del corso, più applicativa e tecnologica, illustra l'applicazione dei principi sopra ricordati a processi di produzione di materiali di interesse nucleare, di riprocessamento dei combustibili esauriti, di innocuizzazione dei prodotti di fissione e di produzione dell'acqua pesante.

PROGRAMMA

Metodi di separazione fondati sulla formazione di complessi, sulla distillazione frazionata, sulla cristallizzazione, sullo scambio ionico: principi e tecnologie.

Principali materiali di interesse nelle tecnologie nucleari e loro applicazioni.

Processi di produzione di combustibili nucleari (uranio, plutonio, torio).

Produzione di deuterio e di acqua pesante secondo diverse tecnologie: distillazione, elettrolisi, scambio isotopico.

Riprocessamento del combustibile per via umida (cicli Redex, Purex, TTA); reprocessing per via secca.

ESERCITAZIONI

Durante le esercitazioni in aula si svolgono calcoli numerici su distillazione, cristallizzazione, relazioni stechiometriche e bilanci di materia, operazioni di trasferimento.

Ad ulteriore chiarimento, in laboratorio vengono eseguite esperienze di estrazione con solvente e separazioni per precipitazione, e sui risultati analitici vengono eseguite valutazioni numeriche.

TESTI CONSIGLIATI

Dispense del corso edite dalla Clut.

IN070 COMPLEMENTI DI IMPIANTI NUCLEARI

Prof. Giovanni DEL TIN

DIP. di Energetica

V ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Termoidraulico -
Termomeccanico -
Dinamica e Controllo

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

Es.

Lab.

75

25

—

6

2

—

Il corso si propone di fornire elementi per il calcolo e la progettazione di impianti nucleari e per la loro analisi di sicurezza.

Il corso prevede lezioni ed esercitazioni in aula.

Nozioni propedeutiche: Fisica del reattore nucleare, Termocinetica e termoidraulica bifase, Impianti nucleari.

PROGRAMMA

Cause di disuniformità nella distribuzione spaziale della potenza. Metodi di appiattimento della distribuzione di potenza. Controllo della reattività: barre di controllo. Controllo chimico. Veleni bruciabili. Variazione di spettro. Procedure di ricarica del combustibile nel nocciolo. Distribuzione di potenza nei transistori di avviamento, spegnimento e nei vari transistori operativi. Regimi transistori e analisi di sicurezza. Transistori di reattività. Transistori di perdita di carico elettrico. Transistori di perdita di portata. Transistori conseguenti alla riduzione della capacità di asportazione del calore dal circuito primario (Lohs). Transistori di perdita di refrigerante (Loca). Sistemi di protezione. Sistemi ausiliari. Sistemi di refrigerazione di emergenza. Sistemi di contenimento. Rilasci di radioattività e implicazioni. Forze di getto e forme di reazione. Implicazioni impiantistiche. Affidabilità degli impianti. Alberi degli eventi e dei guasti. Cenno alla garanzia della qualità.

ESERCITAZIONI

Verifiche di flessibilità dei sistemi di tubazioni. Calcolo contenitore di sicurezza. Normativa ASME.

TESTI CONSIGLIATI

Cumo, *Impianti nucleari*, Ed. Utet.

Thompson and Bekerley, *The technology of nuclear safety*, vol. 1 e 2, Ed. The Mit. Press., Massachusset.

L.S. Tong - J. Weisman, *Thermal analysis of pressurized water reactor*.

E.E. Lewis, *Nuclear power reactor safety*, Ed. John Wiley, New York.

IN073 COMPLEMENTI DI MATEMATICA

Prof. Luciano PANDOLFI

DIP. di Matematica

II ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

Corso di Laurea: ING. NUCLEARE

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

80

6

Es.

20

2

Lab.

—

—

Il corso si propone di provvedere gli strumenti matematici che risulteranno utili alla comprensione dei corsi successivi.

Il corso prevede lezioni ed esercitazioni.

Nozioni propedeutiche: Analisi matematica I e II, Geometria.

PROGRAMMA

Funzioni di variabile complessa: Funzioni olomorfe; Formula integrale di Cauchy e conseguenze; singolarità isolate; sviluppo di Laurent e residui; principio dell'argomento e teorema di Rouché; trasformate ed antitrasformate di Laplace e di Fourier.

Equazioni a derivate parziali: Equazioni quasilineari del primo ordine; equazioni del secondo ordine omogenee o no; equazioni ellittiche, paraboliche ed iperbolica (esemplificate dall'equazione di Laplace, del calore e delle onde); metodo della separazione di variabili.

Funzioni di Bessel.

Cenni sull'integrale di Besesgue.

Spazi di Hilbert: Definizioni e proprietà fondamentali; sistemi ortonormali completi e sviluppi in serie; spazi $L^2(s)$ e polinomi ortogonali; operatori lineari negli spazi di Hilbert.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni verteranno sugli argomenti trattati a lezione.

TESTI CONSIGLIATI

Gli studenti potranno disporre degli appunti delle lezioni.

IN082 CONTROLLI AUTOMATICI

Prof. Giovanni FIORIO

DIP. di Automatica e Informatica

IV ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Dinamica e Controllo

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

Annuale (ore)

72

40

—

Settimanale (ore)

6

4

—

Il corso di Controlli automatici è rivolto sia all'analisi di sistemi fisici, con lo scopo di determinarne le leggi di funzionamento dinamico, sia al progetto degli organi di controllo per tali sistemi.

Nozioni propedeutiche: Elettrotecnica, Complementi di matematica.

PROGRAMMA

- 1) Il problema del controllo automatico.
- 2) Costruzione di modelli di sistemi fisici. Significato e attributi qualitativi di un modello matematico. Rappresentazione grafica (schemi a blocchi, grafi di flusso). Modelli matematici per sistemi elettrici, meccanici, elettromeccanici, termici, idraulici e pneumatici.
- 3) Elementi di analisi di segnali e di modelli matematici. L-trasformate e tecniche di anti-trasformazione. Cenni su processi stocastici e dinamica statica. Variabili di stato non fisiche. Analisi frequenziali. Discretizzazione della variabile tempo. Proprietà strutturali.
- 4) L'incertezza nei modelli di sistemi e di segnali. Incertezza parametrica e additiva; sensitività.
- 5) Dinamica di sistemi monovariabili con retroazione. Criteri di Routh e di Nyquist; margine di stabilità. Luogo delle radici.
- 6) Specifiche per il progetto dei sistemi di controllo. Specifiche su: rapidità di risposta e stabilità relativa, precisione a regime, effetto dei disturbi e dell'incertezza, sicurezza.
- 7) Strutture particolari di sistemi di controllo monovariabili. Compensazione in cascata e in retroazione; retroazione dalle variabili di stato e da uscite secondarie; filtraggio del riferimento e misure sui disturbi.
- 8) Progetto del controllo per sistemi monovariabili. Progetto di un compensatore in cascata a banda integrativa, derivativa, integro-derivativa, e di altre forme. Progetto del compensatore per retroazione degli stati o dalle uscite secondarie. Progetto di altri tipi di compensatore di forma prefissata. Orientamenti per la scelta della forma del compensatore e della struttura del sistema di controllo.

TESTI CONSIGLIATI

Controlli automatici con elementi di teoria dei sistemi, Clut, Torino, 1983.

D'Azzo - Houpis, *Linear Control System Analysis and Design*, McGraw Hill, New York.

Marro, *Controlli automatici*, Zanichelli, Bologna.

Isidori, *Sistemi di controllo*, Siderea, Roma.

IN093 COSTRUZIONE DI MACCHINE

Prof. Graziano CURTI

DIP. di Meccanica

V ANNO
2° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	80	60	—
Settimanale (ore)	6	4	—

Il corso si propone di fornire agli allievi gli insegnamenti metodologici e le nozioni tecniche necessari per affrontare il problema della progettazione in campo meccanico. Nel corso vengono trattati argomenti di carattere generali quali il comportamento a fatica, lo scorrimento a caldo e lo smorzamento interno dei materiali, le vibrazioni flessionali e torsionali e le velocità critiche degli alberi rotanti e argomenti di carattere particolare riferiti ai principali organi di macchine.

Il corso prevede lezioni ed esercitazioni.

Nozioni propedeutiche: Scienza delle costruzioni, Meccanica applicata, Disegno meccanico.

PROGRAMMA

Materiali e loro caratteristiche.

La resistenza dei materiali a fatica e allo scorrimento.

Tensioni principali, stati biassiali e triassiali di tensione, ipotesi di rottura.

Effetti di intaglio.

Saldature: resistenza statica e a fatica.

Collegamenti forzati.

Chiavette, linguette, accoppiamenti scanalati.

Filettature, viti e bulloni.

Molle.

Risultati della teoria di Hertz.

Cuscinetti generalità e montaggio degli stessi.

Assi e alberi.

Giunti: generalità; giunti rigidi, semirigidi, elastici, giunti cardanici.

Innesti: generalità; innesti a denti, innesti a frizione (piana, conica), innesti centrifughi e ruote libere.

Ingranaggi ad evolvente; ruote a denti diritti ed elicoidali, normali e corrette; ruote coniche: condizioni geometriche-cinematiche e verifiche di resistenza.

Dischi rotanti a forte velocità e sottoposti a gradienti termici.

Tubi spessi.

Vibrazioni flessionali e velocità critiche di sistemi a masse concentrate e distribuite.

Oscillazioni torsionali.

Valvole ed organi di intercettazione.

ESERCITAZIONI

Consiste nella progettazione di un gruppo meccanico, normalmente destinato ad applicazioni in campo nucleare, e comprende un dimensionamento di massima (disegno e calcoli) degli organi principali del gruppo.

TESTI CONSIGLIATI

R. Giovannozzi, *Costruzione di Macchine*, vol. 1 e 2, Ed. Pàtron, Bologna.

IN114 DINAMICA E CONTROLLO DEGLI IMPIANTI NUCLEARI

Prof. Mario DE SALVE

DIP. di Energetica

V ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Neutronico -

Termoidraulico -

Dinamica e Controllo

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

Es.

Lab.

84

20

6

2

—

—

Il corso si propone di fornire le metodologie per l'analisi della dinamica delle centrali nucleotermoelettriche e per il controllo automatico delle stesse. Esso si propone di sviluppare: a) caratteristiche funzionali delle centrali nucleo termoelettriche; b) elementi di teoria dei controlli automatici; c) cinetica puntiforme; d) modelli termoidraulici dinamici per sistemi e componenti; e) instabilità termoidrauliche; f) strumentazione termoidraulica e nucleare.

Il corso prevede lezioni ed esercitazioni.

Nozioni propedeutiche: Complementi di impianti nucleari, Controlli automatici, Reattori nucleari.

PROGRAMMA

Parte 1^a - Analisi delle caratteristiche funzionali delle centrali nucleo termoelettriche. Requisiti e caratteristiche dei sistemi di regolazione e protezione. Programmi di regolazione ed inserzione in rete delle centrali nucleo termoelettriche. Cenni sui problemi connessi alla gestione di una rete elettrica.

Parte 2^a - Cenni di teoria dei sistemi e della regolazione. Regolatori; funzioni di trasferimento; sistemi di retroazione. Metodi per lo studio della stabilità dei sistemi a retroazione.

Parte 3^a - Cenni di cinetica puntiforme; inserzione a gradino; a rampa; sinusoidale della reattività. Funzione di trasferimento di un reattore a potenza zero senza effetti di retroazione. Coefficienti di temperatura della reattività; coefficiente dei vuoti, della pressione; coefficienti composti. Difetto di temperatura; difetto di potenza; margini di spegnimento. Funzioni di trasferimento di un reattore con retroazioni della temperatura del combustibile e del moderatore. Analisi delle condizioni di stabilità. Instabilità da Xenon. Barre di controllo.

Parte 4^a - Strumentazione nucleare in core ed ex core. Misure di flussi neutronici, periodo, efficacia delle barre di controllo. Misure termiche e fluidodinamiche.

Parte 4^a - Regolazione dei circuiti primari e secondari di una centrale. Comportamento dinamico del BWR. Instabilità termofluidodinamica. Mappa di regolazione di un BWR. Cenni sui comportamenti dinamici di componenti tradizionali dell'impianto. Procedure di avviamento e spegnimento. Cenni sulla simulazione analogica.

ESERCITAZIONI

Applicazioni della teoria dei controlli automatici e della cinetica puntiforme.

TESTI CONSIGLIATI

A. Novelli, *Elementi di controllo del reattore nucleare*, Ed. Clup, Milano.

Appunti del Docente.

J. Lewins, *Nuclear Reactor Kinetics and Control*, Pergamon Press.

D.C. Metrick, *Dynamics of Nuclear Reactor*.

IN468 DISEGNO

Prof. Giuseppe PALMERI

IST. di Tecnologia Meccanica

I ANNO

1° e 2° PERIODO DIDATTICO

Corso di Laurea: ING. NUCLEARE

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

Annuale (ore)

30 120

—

Settimanale (ore)

1 4

—

Il corso è diretto a fornire le nozioni teoriche ed applicative di rappresentazione grafica e la conoscenza delle norme fondamentali per l'esecuzione e l'interpretazione di disegni e progetti di elementi che interessano l'ingegneria. Viene dato particolare rilievo alla normazione nazionale ed internazionale. Il corso è propedeutico agli insegnamenti di disegno sviluppati negli anni seguenti nei vari indirizzi.

Il corso si svolgerà con lezioni ed esercitazioni.

Nozioni propedeutiche: i contenuti dei corsi di Geometria piana e solida.

PROGRAMMA

Caratteristiche del disegno. Strumenti e mezzi tecnici. Condizionamenti formali nella normativa nazionale ed internazionale.

Tecnica operativa di rappresentazione nel sistema Europeo ed Americano: assonometrie generiche ed unificate, proiezioni ortogonali, ausiliarie e sezioni, viste esplose.

Quotatura e sistemi di quotatura: convenzioni, caratteristiche, funzionalità.

Tecnologie di base: cenni sui sistemi di produzione emergenti.

Dimensioni normali e tolleranze dimensionali: normativa nazionale ed internazionale per i diversi accoppiamenti.

Collegamenti smontabili: filettatura, convenzioni e caratteristiche geometriche e funzionali; bulloneria, rosette ed elementi di sicurezza.

Collegamenti fissi: chiodature e saldature.

Finitura superficiale e rugosità.

Studio di composizione e scomposizione di complessivi.

Scelta degli elementi unificati nella progettazione di nodi strutturali e di semplici insiemi.

Elementi di C.A.D. (Disegno assistito dal calcolatore).

ESERCITAZIONI

Disegno a mano libera e con attrezzi di elementi meccanici. Rilievo dal vero. Rappresentazione di complessivi e relativi particolari. Impostazione di grafici e diagrammi.

TESTI CONSIGLIATI

Maifreni, *Il disegno meccanico*, vol. 1 e 2, Paravia, Torino (ultima edizione).

Chevalier, *Manuale del disegno tecnico*, SEI, Torino.

Straneo - Consorti, *Il disegno tecnico*, vol. unico, Principato, Milano (ultima edizione).

IN481 DISEGNO MECCANICO

Prof. Silvio MANZONI

IST. di Tecnologia Meccanica

II ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

Corso di Laurea: ING. NUCLEARE

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

30

—

Es.

110

—

Lab.

—

—

L'insegnamento ha lo scopo di fornire agli allievi i fondamenti del disegno tecnico, inteso come linguaggio, nonché le prime indicazioni sul proporzionamento di elementi e di gruppi meccanici. Viene dato particolare rilievo alla normazione nazionale ed internazionale.

Nozioni propedeutiche: Disegno.

PROGRAMMA

Le fasi del progetto meccanico: l'influenza del calcolo, della lavorazione meccanica e dell'unificazione sul disegno dei pezzi meccanici.

Rugosità delle superfici, misura e unificazione, relazioni con le tolleranze.

Tolleranze di lavorazione: dimensionali e geometriche di forma e di posizione; catene di tolleranze e loro calcolo.

Assi e alberi: raccordi e smussi; generalità sul fissaggio di un organo meccanico su di un albero.

Chiavette, linguette, accoppiamenti scanalati, tipi, particolarità, unificazione, quotatura.

Spine e perni; spine elastiche; chiavette trasversali.

Cuscinetti a strisciamento e loro lubrificazione.

Cuscinetti idrostatici.

Cuscinetti pneumostatici.

Cuscinetti magnetostatici.

Cuscinetti a rotolamento; tipi, particolarità ed unificazione.

Montaggio e scelta dei cuscinetti a rotolamento.

La lubrificazione e la protezione dei cuscinetti a rotolamento; anelli da tenuta e tenute a labirinto.

Dispositivi antisvitamento; rosette a piastrine, rosette elastiche, coppie e dadi speciali.

Cenni su ruote di frizione; catene, cinghie piane e trapezoidali.

Ruote dentate; generalità e parametri fondamentali; ruote dentate cilindriche esterne ed interne; coppia rocchetto-dentiera; ruote dentate coniche.

Coppia vite senza fine-ruota elicoidale.

Le molle; tipi principali e particolarità.

La chiodatura; generalità, tipi di chiodi e di giunti chiodati ed unificazioni.

La saldatura; generalità e principali procedimenti tecnologici.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nello studio, nella elaborazione e nel disegno di gruppi meccanici di complessità via via crescente e sempre diversi nei vari anni. Agli allievi sono forniti schemi di tali gruppi meccanici che servono per il disegno dei complessivi dei gruppi stessi; successivamente vengono disegnati i particolari dei gruppi, corredati di tutte le indicazioni necessarie per la loro costruzione.

TESTI CONSIGLIATI

E. Chevalier - E. Chirone - V. Vullo, *Manuale del disegno tecnico*, SEI, Torino, 1976.

E. Chirone - V. Vullo, *Cuscinetti a strisciamento*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1979.

IN145 ELETTRONICA NUCLEARE

Prof. Maurizio VALLAURI

DIP. di Elettronica

V ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

Annuale (ore)

70

20

—

Settimanale (ore)

6

2

—

Il corso è organizzato come insegnamento di Elettronica applicata per non elettronici; in quanto inserito nel corso di laurea in Ingegneria nucleare esso ha lo scopo di presentare i principi della Elettronica con accento sulle applicazioni che interessano precipuamente la tecnica nucleare.

Il corso prevede ore di lezione ed esercitazione.

Nozioni propedeutiche: Elettrotecnica, Complementi di matematica.

PROGRAMMA

- 1) Fondamenti. Circuiti e sistemi. Reti lineari resistive. Sorgenti dipendenti. Amplificatori operazionali. Capacità e induttanze.
- 2) Elettronica lineare. Processi di conduzione elettrica. Circuiti a diodi e applicazioni. Elettronica fisica dei transistori bipolari, FET, MOS. Circuiti con transistori: modelli per grandi e piccoli segnali. Reazione nei sistemi fisici, reazione e stabilità negli amplificatori. Risposta in frequenza degli amplificatori.
- 3) Elettronica non lineare. Circuiti digitali: algebr binaria, realizzazioni circuitali integrate di funzioni logiche. Applicazioni della tecnica digitale: multivibratori, contatori, registri. Realizzazioni a componenti discreti dei multivibratori. Conversione analogica-digitale e digitale-analogica.
- 4) Elettronica della tecnica nucleare. Elementi base di una catena di conteggio: amplificatore per impulsi, circuiti di coincidenza e anticoincidenza, discriminazione integrale e differenziale, misura di cadenza di conteggio. Analizzatori multi-canali. Sistema di regolazione automatica del reattore e suoi componenti.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni comprendono applicazioni di calcolo, progetto e verifica di massima relative ai principali argomenti del corso.

TESTI CONSIGLIATI

Per eventuali consultazione:

J. Millman, *Microelectronics*, McGraw Hill International Book Co., 1979.

R.J. Smith, *Circuits, Devices, and Systems*, 4th Edition, John Wiley & Sons, 1984.

U. Tietze - C. Schenk, *Halbleiter-Schaltungstechnik*, 7.Auflage, Springer Verlag, 1985.

Gli allievi avranno a disposizione note manoscritte riproducibili, sui principali argomenti del Corso.

IN483 ELETTROTECNICA

Docente da nominare

DIP. di Elettrotecnica

III ANNO

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

2° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore)

86

30

—

Settimanale (ore)

6

2

—

Il corso ha lo scopo di fornire le basi e i metodi per analizzare il funzionamento e per ottenere il migliore utilizzo delle principali macchine e apparecchiature industriali dell'elettrotecnica. Dopo l'esame dei campi elettrici, magnetici e di corrente, vengono presentati i metodi per lo studio dei circuiti in regime stazionario, sinusoidale monofase e trifase, e in regime transitorio. È quindi possibile l'analisi di macchine elettriche (trasformatori, macchine in corrente alternata e corrente continua, raddrizzatori) e di impianti elettrici specifici (linee di distribuzione, protezioni, impianti di terra).

L'esame tende ad accertare la capacità di risolvere problemi relativi alle applicazioni studiate.

Nozioni propedeutiche: Analisi I e II, Fisica I e II.

PROGRAMMA

Generalità sui fenomeni elettrici. Circuiti in regime stazionario: parametri e leggi del campo di corrente, resistori collegamenti e dimensionamento, reti elettriche lineari, conduttori estesi. Capo dielettrico: parametri e leggi, condensatori collegamenti e dimensionamento, energia e forze nel campo elettrostatico, circuito R-C in regime variabile. Elettromagnetismo: parametri e leggi, auto e mutuo-induttore, energia e forze nel campo magnetico, circuito R-L in regime variabile, equazioni di Maxwell e propagazione dell'energia elettromagnetica, ferromagnetismo, circuiti magnetici. Circuiti monofase: regime sinusoidale e metodo simbolico, impedenza, potenze, circuiti equivalenti, analisi di reti a regime in transitorio e a frequenza variabile, conduttori massicci, regime periodico. Circuiti trifase: collegamenti e neutro, sistemi simmetrici ed equilibrati, potenze campo magnetico rotante, misura di potenza ed energia. Macchine elettriche: generalità, perdite, rendimenti, riscaldamento, potenza nominale e dati di specifica. Trasformatori: costituzione, circuito equivalente, funzionamento normale a vuoto e in cortocircuito, variazione di tensione, parallelo, autotrasformatore, trasformatori trifase. Macchine sincrone: costituzione, generatore trifase, funzionamento a vuoto e a carico, motore sincrone. Macchine asincrone: costituzione, motori trifase, circuito equivalente, caratteristica meccanica, avviamento, motori a doppi gabbia, motori monofase. Macchine a corrente continua: costituzione, commutazione, modi di eccitazione, caratteristiche dei generatori a vuoto e a carico, caratteristiche meccaniche dei motori. Criteri di impiego dei motori elettrici: regolazione della velocità, schemi di inserzione. Raddrizzatori: diodi semplici e controllati, schemi a una e due vie monofase e trifase.

Impianti elettrici: dimensionamento di un distributore, rifasamento, protezioni da sovraccarico da cortocircuito e differenziali, impianti di terra, sicurezza nelle applicazioni elettriche.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni strettamente connesse con il corso svolgono temi complementari e problemi di preminente interesse applicativo.

TESTI CONSIGLIATI

A. Abete, *Elettrotecnica*, (appunti dalle lezioni).

A. Abete, *Problemi di Elettrotecnica*.

P.P. Civalleri, *Elettrotecnica*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1981.

G. Fiorio, *Problemi di Elettrotecnica*, Clut, 1982.

K. Kupfmüller, *Fondamenti di Elettrotecnica*, Utet, Torino.

G. Somenza, *Elettrotecnica generale*, Pàtron, 1980.

IN473 FISICA I

Prof. Carla BUZANO PESCARMONA DIP. di Fisica
(1° corso)

I ANNO	Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
2° PERIODO DIDATTICO	Annuale (ore)	75	28	24
Corso di Laurea: ING. NUCLEARE	Settimanale (ore)	6	2	2

Come corso istituzionale del 1° anno, il corso è inteso a illustrare i principi fondamentali della meccanica e termodinamica, e fornire una base sufficiente a comprendere i problemi relativi, risolvere i più semplici, e poter sviluppare nei corsi successivi le tecniche specifiche di soluzione dei più complessi.

Il corso si svolgerà con lezioni, esercitazioni, laboratori.

Nozioni propedeutiche: per la buona comprensione del corso si richiede la conoscenza di Analisi matematica I.

PROGRAMMA

Cenni di metrologia: misurazione e incertezza di misura, sistemi di unità; valutazione dell'incertezza in misurazioni indirette.

Interpretazione ed uso dei vettori in fisica.

Cinematica del punto: velocità e accelerazione nei moti rettilinei e curvilinei; moto relativo; cambiamento del sistema di riferimento.

Dinamica del punto: leggi di Newton; forza, massa, quantità di moto, sistemi inerziali; conservazione delle quantità di moto; forze di campo (gravità e forze elastiche), vincoli e attriti, forze inerziali; lavoro; teorema dell'energia cinetica; campi conservativi ed energia potenziale. Dinamica dei sistemi: centro di massa; conservazione della quantità di moto, dell'energia e del momento angolare; moto nel sistema del centro di massa; urti; oggetti a massa variabile; dinamica rotatoria dei corpi rigidi e momento d'inerzia.

Statica dei corpi rigidi; statica dei fluidi.

Moto armonico; oscillazioni forzate e risonanza; cenni alle onde elastiche.

Dinamica dei fluidi perfetti; tensione superficiale.

Campo gravitazionale e leggi del moto planetario.

Termometria: dilatazione termica; scale di temperatura; teoria cinetica dei gas.

Calorimetria: conduzione del calore; sistemi termodinamici; equazione di stato dei gas perfetti e di Van der Waals; cambiamenti di stato.

Primo principio della termodinamica e problematica relativa.

Secondo principio della termodinamica: macchine termiche; ciclo e teorema di Carnot; teorema di Clausius; entropia.

ESERCITAZIONI

Esercitazioni numeriche a squadre sul programma del corso.

LABORATORI

Esercitazioni a mezze squadre in laboratorio. Esperienze di cinematica e dinamica mediante l'impiego di rotaia a cuscinio d'aria. Acquisizione ed elaborazione di dati sperimentali (caduta dei gravi e oscillazioni del pendolo) con l'uso di Computer Apple II.

TESTI CONSIGLIATI

Lovera - Minetti - Pasquarelli, *Appunti di Fisica*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1977.

Lovera - Malvano - Minetti - Pasquarelli, *Calore e Termodinamica*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1977.

Alonso - Finn, *Elementi di Fisica per l'Università*, vol. 1, Masson, Milano, 1982.

Halliday - Resnick, *Fondamenti di Fisica*, parte 1^a (con le appendici di Barbero, Mauroni e Strigazzi); in alternativa: Halliday - Resnick, *Fisica*, parte 1^a, Ambrosiana, Milano, 1978.

Minetti - Pasquarelli, *Esercizi di Fisica I*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1971.

IN165 FISICA II

Prof. Angelo TARTAGLIA

DIP. di Fisica

II ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

Corso di Laurea: ING. NUCLEARE

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

Es.

Lab.

80

30

10

6

2

1

Finalità del corso è l'apprendimento dei fondamenti dell'Elettromagnetismo e dell'ottica.

Il corso si svolgerà con lezioni, esercitazioni orali, laboratori.

Nozioni propedeutiche: fondamenti di Meccanica, Calcolo differenziale e integrale, Funzioni elementari.

PROGRAMMA

Interazione di tipo elettrico. Campi elettrici statici. Circuiti elettrici. Interazione magnetica. Campi magnetici e correnti elettriche. Il campo magnetico statico. La struttura elettrica della materia. Il campo elettromagnetico dipendente dal tempo. Circuiti elettrici in condizioni dipendenti dal tempo. Moto ondulatorio: onde elastiche. Onde elettromagnetiche. Interazione della radiazione elettromagnetica con la materia. Riflessione e rifrazione. Riflessione e rifrazione di onde elettromagnetiche. Polarizzazione. Geometria della propagazione per onde. Interferenza. Diffrazione.

ESERCITAZIONI

Risoluzione di facili esercizi e problemi relativi ai principali argomenti del corso.

LABORATORI

Uso di amperometri e voltmetri. Misure di resistenza e capacità. Misure di indici di rifrazione e di lunghezza d'onda.

TESTI CONSIGLIATI

Alonso - Finn, vol. 2.

Guido Piragino, *Fisica Generale II*, Clu.

IN167 FISICA ATOMICA

Prof. Claudio OLDANO

DIP. di Fisica

III ANNO
2° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	90	30	—
Settimanale (ore)	8	2	—

Il corso intende dare una preparazione di base sulla meccanica quantistica, gli elementi della struttura atomica e qualche cenno sulla struttura molecolare.

Il corso comprende lezioni, esercitazioni.

Nozioni propedeutiche: Complementi di matematica.

PROGRAMMA

Complementi di elettromagnetismo. Potenziali scalare e vettore. Pacchetti d'onda. Energia e quantità di moto di un fotone. Richiami di meccanica analitica, parentesi di Poisson, teorema di Liouville, equazione di Liouville. Meccanica statistica classica e quantistica (cenni): insieme canonico, distribuzione delle velocità di Maxwell-Boltzmann, teorema di equipartizione della energia, calori specifici, legge di Planck per la radiazione termica. Lunghezza d'onda di De Broglie. Principio di indeterminazione. Equazione di Schroedinger. Trasmissione e riflessione da un gradino e da una barriera di potenziale. Effetto tunnel. Oscillatore armonico. Meccanica delle matrici. Autovalori e auto-funzioni di un operatore. Schema di Heisenberg e schema di Schroedinger. Momenti angolari: relazioni di commutazione. Funzioni sferiche. Composizione di momenti angolari. Esperienza di Stern e Gerlach. Spin dell'elettrone. Atomo di idrogeno. Teoria delle perturbazioni statiche. Effetto Zeeman. Atomi con più elettroni. Principio di esclusione. Perturbazioni dipendente dal tempo. Teoria quantistica dell'urto. Teoria semiclassica dell'emissione ed assorbimento di radiazione. Spettri atomici e regole di selezione. Spettri vibrazionali e rotazioni delle molecole biatomiche.

TESTI CONSIGLIATI

- P. Caldirola - R. Cirelli - G.M. Prosperi, *Introduzione alla fisica teorica*, Utet, Torino, 1982.
 C. Rossetti, *Istituzioni di fisica teorica*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1978.
 R. Rigamonti, *Introduzione alla struttura della materia*, La Goliardica Pavese, Pavia, 1977.
 A. Messiah, *Quantum Mechanics*, vol. 1 e 2, North-Holland P.C., Amsterdam, 1964.
 C. Cohen - Tannoudji - B. Diu - F. Laloë, *Mécanique quantique, vol. 1 e 2*, Hermann, Paris, 1973.

ESERCITAZIONI

Esercitazioni numeriche a richiesta sul programma del corso.

LABORATORI

Interventi a mezzo spondie in laboratorio. Esperienze di cinematica e dinamica relative all'impiego di corse a cuscino d'aria. Acquisizione ed elaborazione di dati sperimentali (cadute dei gravi e oscillazioni dei pendoli) con l'uso di Computer Apple II.

TESTI CONSIGLIATI

- Lavaurs - Mirani - Pasquarilli, *Appunti di Fisica*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1977.
 Lavaurs - Malvano - Mirani - Pasquarilli, *Calore e Termodinamica*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1977.
 A. Messiah, *Fisica, Elementi di Fisica per l'Università*, vol. 1, Masson, Milano, 1982.
 Halliday - Resnick, *Fondamenti di Fisica*, parte 1^a (con le appendici di Halliday, Mirani e Sestini) o alternativa: Halliday - Resnick, *Fisica*, parte 1^a, Ambrosiana, Milano, 1978.
 Mirani - Pasquarilli, *Esercizi di Fisica 1*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1977.

IN171 FISICA DEL REATTORE NUCLEARE

Prof. Silvio Edoardo CORNO

DIP. di Energetica

IV ANNO
1° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	80	50	—
Settimanale (ore)	6	4	—

Il corso, obbligatorio sul piano nazionale per tutti gli allievi nucleari, si prefigge di chiarire i principi fisici di funzionamento dei reattori nucleari a fissione dal punto di vista del bilancio neutronico, sia in condizioni statiche che dinamiche. I principali metodi fisico-matematici della neutronica applicata vengono analizzati coll'intento di evidenziare il loro effettivo significato fisico, nonché le implicazioni ingegneristiche della teoria del progetto delle centrali a fissione provate e avanzate. L'approccio metodologico vuole essere formativo più che informativo, al fine di predisporre l'allievo ad affrontare autonomamente tutta una vasta gamma di problemi fisico-matematici caratteristici dell'energetica, che sono affini a quelli neutronici. Il corso prevede lezioni ed esercitazioni. Esercitazioni: sia teoriche e numeriche guidate, sia svolgimento di argomenti complementari di neutronica applicata. Gli studenti possono svolgere calcoli con codici nucleari per grandi calcolatori. Nozioni propedeutiche: Analisi matematica II, Complementi di matematica, Elementi generali di Fisica atomica e nucleare. Sono utili nozioni elementari di programmazione in Basic e Fortran.

PROGRAMMA

- 1) Brevi richiami di Fisica nucleare. Interazione dei neutroni con mezzi materiali; fissione dei nuclei pesanti e bilancio energetico. Fondamenti concettuali della teoria di una generica reazione a catena. I neutroni come portatori della catena. Classificazione dei reattori a fissione.
- 2) Diffusione e rallentamento dei neutroni nei mezzi materiali. Equazione di diffusione monocinetica. Moderatori. Rallentamento continuo. Metodi a multigruppi energetici. Cenni all'equazione del trasporto di Boltzmann.
- 3) Teoria della criticità delle strutture moltiplicanti. Interazione tra sorgenti neutroniche e mezzi moltiplicanti. Equazione critica dei reattori omogenei nudi, in diverse approssimazioni. Teoria della età alla Fermi. Reattori riflessi e a più zone. Transitori spettrali di interfaccia. Cenni ai due teoremi fondamentali della Fisica dei reattori.
- 4) Reattori eterogenei. Necessità ed effetti della eterogeneità. Catture in risonanza, moltiplicazioni veloci, «utilizzo termica» nei reticoli. Strutture ad acqua, a grafite gas ed a metallo liquido. Reattori termici, intermedi e veloci autofertilizzanti.
- 5) Cinetica delle strutture moltiplicanti. Influenza dei neutroni ritardati. Soluzione delle azioni dinamiche in diverse approssimazioni. Cenni alle retroazioni di temperatura e densità del moderatore. Funzione importanza dei neutroni nella statica e nella dinamica.
- 6) Reattività a lungo termine. Evoluzione del combustibile sotto irraggiamento. Avvelenamento da prodotti da fissione. Rapporto di conversione nei reattori provati ed avanzati. Autofertilizzazione nei reattori veloci al sodio.
- 7) Il controllo delle reazioni a catena. Teoria elementare delle barre di controllo. Cenni alla distribuzione ottimale delle barre agli effetti del controllo. Nozioni elementari sulla stabilità.
- 8) Metodi perturbativi nella statica e nella dinamica. Applicazioni ad uno e due gruppi energetici.
- 9) Codici di calcolo elettronico per la progettazione neutronica delle centrali elettronucleari di potenza.
- 10) Cenni alla formulazione delle equazioni di base della magnetofluidodinamica, in vista della loro applicazione ai reattori di fusione.

TESTI CONSIGLIATI

B. Montagnini, *Lezioni di fisica del Reattore nucleare*, Università di Pisa, 1983.
I.R. Lamarsh, *Introduction to Nuclear Reactor Theory*, Ed. Addison-Wesley, Reading Mass., 1966.
A.M. Weinberg - E.P. Wigner, *The Physical Theory of Neutron Chain Reactors*, The University of Chicago Press., 1958.
A.F. Henry, *Nuclear Reactor Analysis*, MIT Press., Cambridge Mass., 1975.
V. Boffi, *Fisica del Reattore nucleare*, 2 voll., Patron, Bologna, 1974.

IN172 FISICA MATEMATICA

Prof. Guido RIZZI

DIP. di Matematica
IST. di Meccanica Razionale

IV ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Fisico strumentale

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	100	—	—
Settimanale (ore)	8	—	—

Argomento principale del corso è un'introduzione alla relatività speciale. Argomenti ulteriori, in ambito seminariale: 1) un'introduzione alla meccanica statistica; 2) un'introduzione alla relatività generale. Concedendo ampio spazio alle questioni di metodo, il corso intende: 1) proporre una visione sintetica, rigorosa e concettualmente semplice di un ampio dominio della fisica moderna; 2) familiarizzare lo studente con una mentalità, un linguaggio, una metodologia che consentano sia di approfondire la propria cultura scientifica sia di agevolare un'eventuale collaborazione con i fisici.

Il corso si articola in lezioni (6 ore settimanali) e seminari (2 ore settimanali).

Nozioni propedeutiche: gli argomenti dei corsi di Analisi matematica I e II, Fisica I e II. Possibilmente anche Meccanica razionale, Geometria, Complementi di matematica, Fisica atomica.

PROGRAMMA

Calcolo tensoriale. Vengono introdotte le tecniche matematiche adatte allo studio dei campi e della relatività speciale. Tali tecniche saranno utilizzate sistematicamente in tutto il corso. *Meccanica relativistica.* Si introduce lo spaziotempo pseudoeuclideo. In tale contesto si studia la meccanica della particella, sia con massa propria costante che con massa propria variabile. Tale studio viene poi esteso ai sistemi di particelle e ai continui incoerenti. Particolare attenzione è rivolta ai teoremi di conservazione.

Elettrodinamica relativistica. In questa parte, che è la più ampia del corso e forse la più importante per la formazione di una mentalità aperta alla fisica moderna, si istituisce la teoria in forma covariante nello spaziotempo pseudoeuclideo. Infine si applica la teoria allo studio dell'irraggiamento di una carica accelerata.

Seminario 1: Introduzione delle tecniche matematiche adatte allo studio della relatività generale. Principi fondamentali della teoria. Sistemi di riferimento in relatività generale. Red shift gravitazionale; moto di un pianeta attorno a un sole. Equazioni einsteiniane della gravitazione. Soluzione di Schwarzschild.

Seminario 2: Introduzione alla meccanica statistica. Teoremi fondamentali nello spazio delle fasi. Ergodicità. Irreversibilità e approccio all'equilibrio. Equazione di Boltzmann. Teorema H. *Nota.* Il programma d'esame potrà essere concordato col docente nell'ambito del programma complessivo delle lezioni e dei seminari. I seminari I e II sono in alternativa, a scelta dello studente.

ESERCITAZIONI

Gli argomenti delle esercitazioni sono inseriti nel corso delle lezioni.

TESTI CONSIGLIATI

G. Rizzi, *Appunti dal corso*, in stampa presso la Clut.

G. Rizzi, *Introduzione alla Meccanica statistica*, (appunti).

R.L. Liboff, *Introduction to the theory of kinetic equations*, Wiley & Sons, New York.

Ter Haar, *Foundations of statistical mechanics*, Rev. of Modern Phys., 27, 3 (1955).

C. Cattaneo, *Introduzione alla teoria Einsteiniana della gravitazione*, Veschi, Roma, 1960.

H. Ohanina, *Gravitation and Spacetime*, Norton, New York, 1976.

IN173 FISICA NUCLEARE

Prof. Bruno MINETTI

DIP. di Fisica

IV ANNO
1° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	56	24	48
Settimanale (ore)	4	6	—

Il corso è indirizzato a fornire una informazione di base sui fenomeni nucleari in particolare in vista delle applicazioni di queste conoscenze nell'ambito di corsi successivi specifici dell'indirizzo di Ingegneria nucleare. Il corso si articola in due parti: a) fondamenti di Fisica nucleare sperimentale riguardante lo studio dei metodi di misura usati nella Fisica nucleare, nonché le caratteristiche generali dei rivelatori principalmente usati; b) elementi di struttura e dinamica nucleare riguardante gli aspetti principali della struttura nucleare e le caratteristiche principali delle reazioni nucleari. Lo studio teorico è sempre visto alla luce del paragone con i dati sperimentali che sono alla base di ogni metodo nucleare.

Il corso prevede lezioni, esercitazioni e laboratori.

Nozioni propedeutiche: è necessaria una conoscenza approfondita delle materie del biennio e del contenuto dei Corsi di Complementi di matematica e Fisica atomica.

PROGRAMMA

A) Fondamenti di Fisica nucleare sperimentale. Nozioni generali sul nucleo: raggi nucleari; masse nucleari ed energie di legame; momenti angolari; parità e simmetria; momenti magnetici ed elettrici; livelli energetici; carta dei nuclei; reazioni nucleari; nuclei speculari.

Decadimento radioattivo: caso di una sola sostanza; caso di due o più sostanze.

Elementi di Dosimetria.

Fluttuazioni statistiche in Fisica nucleare: distribuzione di Poisson; distribuzione di Gauss; applicazioni ai metodi di misura in fisica nucleare (determinazione di tempi di misura, di statistiche di conteggio, ecc.).

Passaggio di particelle e radiazioni γ nella materia: perdita di energia e range di particelle cariche; intrazioni dei raggi γ nella materia (effetto fotoelettrico, effetto Compton e produzione di coppie) interazione di neutroni nella materia.

Metodi di rivelazione in Fisica nucleare: rivelazione di particelle pesanti cariche, di elettroni, di raggi γ , di neutroni.

Teniche e simulazione e metodi di Monte Carlo.

B) Elementi di strutture e dinamica nucleare.

Problema delle forze nucleari: trattazione fenomenologica del problema a due corpi nel caso di uno stato legato (deutone), scattering elastico nucleone-nucleone; dipendenza dallo spin delle forze nucleari; collassamento dei nuclei e cenni sulle forze di scambio.

Modelli nucleari; modello a goccia, modello a strati; cenno sui modelli collettivi; modello a gas di Fermi.

Decadimento nucleare: decadimenti alfa, beta e gamma; isometria nucleare.

Reazioni nucleari: cinematica nel sistema del laboratorio e del centro di massa, andamento delle sezioni d'urto vicino alla soglia; risonanze, teoria del nucleo composto, cenni sulle reazioni dirette. Fissione nucleare.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni riguardano gli argomenti svolti nel corso e consistono nella risoluzione di problemi e nell'approfondimento di argomenti accennati nelle lezioni.

LABORATORI

Si evidenziano dapprima le caratteristiche di alcuni rivelatori (contat. Geiger, a stato solido, a scintillazione). Alcuni esperimenti riguardanti l'evoluzione di fenomeni nucleari.

TESTI CONSIGLIATI

- H. Henge, *Introduction to Nuclear Physics.*
- R.D. Evans, *The Atomic Nucleus.*
- B.L. Cohen, *Concepts of Nuclear Physics.*
- T.J. Connolly, *Foundations of Nuclear Engineering.*

PROGRAMMA

Il corso è articolato in tre parti principali. La prima parte tratta della fisica nucleare, con particolare riferimento alle reazioni nucleari e alla produzione di energia. La seconda parte è dedicata alla tecnologia nucleare, con un'analisi delle diverse applicazioni e dei problemi di sicurezza. La terza parte affronta le implicazioni sociali e ambientali dell'energia nucleare, con un'attenzione particolare alle politiche di sviluppo sostenibile.

ATTUALITÀ

Questo numero è dedicato alle notizie più recenti nel campo della fisica nucleare e delle applicazioni tecnologiche. In particolare, vengono presentati i risultati delle ultime ricerche condotte nei principali laboratori internazionali, con un'attenzione particolare alle innovazioni nei materiali e nei processi di produzione.

IN174 FISICA TECNICA

Prof. Paolo GREGORIO

DIP. di Energetica

III ANNO
1° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	60	60	—
Settimanale (ore)	4	4	—

Il contenuto del corso è quello tradizionale della Fisica tecnica presso questa Facoltà, con particolare riferimento alla termodinamica applicata, elementi di moto dei fluidi e trasmissione del calore. Tali argomenti costituiscono un collegamento tra i corsi di Fisica del biennio e i corsi successivi del triennio (in particolare Macchine, Termocinetica, Trasmissione del calore, Impianti nucleari). Le esercitazioni grafiche e di calcolo hanno carattere individuale e vengono verificate nel corso dell'esame. Il corso comprenderà lezioni di tipo tradizionale; esercitazioni, grafiche e di calcolo. Nozioni propedeutiche: Analisi I, Analisi II, Fisica I, Fisica II.

PROGRAMMA

Termodinamica: generalità e definizioni. Primo principio della termodinamica, energia interna, entalpia. Secondo principio della termodinamica. Ciclo di Carnot. Equazione di Clausius. Entropia. Gas ideali e loro proprietà. Effetto Joule-Thomson. Macchine termiche: ciclo di Carnot, cicli rigenerativi, cicli di quattro politropiche, cicli inversi. Liquidi e vapori: proprietà delle miscele, cicli diretti, cicli rigenerativi, cicli inversi. Conversione diretta dell'energia: fenomeni termoelettrici, celle a combustibile, dispositivi termoionici, generatori MHD. Gas reali. Miscele di aria e vapor d'acqua: proprietà e diagrammi entalpici.

Moto dei fluidi e trasmissione del calore: viscosità, tipi di moto. Equazioni fondamentali. Efflusso degli aeriformi. Moto dei fluidi nei condotti. Conduzione termica stazionaria in geometria piana, cilindrica, sferica. Sistemi a superficie estesa: alette e spine. Sistemi con generazione interna di calore. Sistemi bidimensionali. Conduzione termica non stazionaria. Convezione: analisi dimensionale, coefficiente di scambio termico convettivo, analogia di Reynolds-Prandtl. Scambiatori di calore: tipi, determinazione del profilo di temperatura, metodi di calcolo (tradizionali e NUT).

ESERCITAZIONI

Esercizi di calcolo di termodinamica fondamentale. Esercitazioni di calcolo e grafiche su cicli a gas e a vapore. Calcolo di uno scambiatore di calore.

TESTI CONSIGLIATI

C. Boffa - P. Gregorio, *Elementi di fisica tecnica*, vol. 2, Ed. Levrotto & Bella, Torino.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni riguardano gli argomenti trattati nel corso e consistono nella risoluzione di problemi e nell'approfondimento di argomenti accennati alle lezioni.

IN477 GEOMETRIA I

Prof. Carla MASSAZA

DIP. di Matematica

I ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

Corso di Laurea: ING. NUCLEARE

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	80	52	—
Settimanale (ore)	6	4	—

Il corso si propone di fornire agli studenti una preparazione di base per lo studio di problemi con l'uso di coordinate in relazione alla geometria analitica del piano e dello spazio. Una parte del corso è anche dedicata al calcolo matriciale, oltre che allo studio delle funzioni di più variabili reali.

Il corso si svolge in lezioni ed esercitazioni.

Nozioni propedeutiche: si trovano nel corso di Analisi matematica I con particolare riguardo alle proprietà dei numeri reali e complessi, operazioni di integrazione e di derivazione.

PROGRAMMA

Vettori liberi ed applicati. Operazioni fondamentali sui vettori ed applicazioni geometriche. Geometria analitica del piano. Coniche come curve del 2° ordine. Altri luoghi geometrici. Geometria analitica dello spazio. Coordinate cartesiane, cilindriche e sferiche. Proprietà generali di curve e superficie. Sfere e circonferenze. Coni e cilindri. Superficie di rotazione e quadriche. Elementi di geometria differenziale delle curve. Curve in forma parametrica. Lunghezza di un arco di curva.

Triedro fondamentale, curvatura e torsione. Applicazioni.

Spazi vettoriali, matrici e sistemi lineari. Sottospazi. Dimensione. Operatori lineari e matrici, con relative operazioni. Risoluzione di sistemi lineari. Autovalori ed autovettori di un operatore lineare. Calcolo differenziale per funzioni di più variabili. Funzioni di più variabili a valori reali, dominio, limiti. Derivate parziali e direzionali. Gradiente, differenziale. Massimi e minimi relativi.

Funzioni a valori vettoriali e matrice jacobiana. Applicazioni geometriche: retta tangente ad una curva, piano tangente ad una superficie.

ESERCITAZIONI

Illustrazione mediante esempi ed esercizi dei vari aspetti del programma.

TESTI CONSIGLIATI

Greco - Valabrega, *Lezioni di Matematica per allievi ingegneri*, vol. 2 (in due parti), Ed. Le-vrotto & Bella, Torino.

AA.VV., *Esercizi di Geometria*, Ed. Celid.

ESERCITAZIONI

Il corso delle esercitazioni prevede applicazioni specifiche di calcolo sulle superfici e linee, con particolare attenzione a temi relativi all'ingegneria nucleare.

TESTI CONSIGLIATI

Appunti delle lezioni sono messi a disposizione degli allievi.

A.F. Catania, *Complementi di esercizi di matematica*, Ed. Le-vrotto & Bella, Torino.

G. Serrari, *Macchine*, vol. 1, Clot, Torino, 1980.

P. Montanari, *Macchine a gas*, Clot, Milano, 1977.

IN226 IMPIANTI NUCLEARI

Prof. Carlo ARNEODO

DIP. di Energetica

IV ANNO
2° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	90	20	—
Settimanale (ore)	6	2	—

Il corso introduce lo studente nel campo dell'impiantistica delle centrali nucleari e serve da raccordo, per l'indirizzo impiantistico, fra i corsi precedenti (Fisica tecnica, Macchine, Trasmissione del calore) e quelli successivi (C. di I.N.; Dinamica e controllo degli impianti nucleari, Termotecnica del reattore). I temi trattati riguardano gli impianti basati sui reattori ad acqua (PWR e BWR), con cenni ai reattori veloci ed a quelli ad uranio naturale e grafite e tipo HTFR.

Il corso comprende lezioni e seminari (tenuti dal docente) ed esercitazioni di calcolo. Nozioni propedeutiche: Fisica tecnica, Macchine, Trasmissione del calore, Chimica.

PROGRAMMA

Introduzione: richiami di trasmissione del calore e moto dei fluidi; flussi termici di burn-out. Impianti con reattore tipo PWR: descrizione di Trino e Sequoya; calcolo andamento temperature acqua e parete, temperature centro pellet, flusso di burn-out (W3, Babcoke Wilcox); descrizione e calcolo del generatore di vapore a U rovesciato (temp. primaria, velocità di circolazione naturale, instabilità); calcolo di un generatore di vapore tipo Babcoke e Wilcox; calcolo del transiente termico in una pellet.

Impianti con reattore tipo BWR; descrizione di Caorso e di Douglas Point; calcolo dell'andamento della pressione dopo un LOCA in un contenitore di sicurezza (Mark III).

Sicurezza dei impianti: dosi e radiazioni rapporto Rasmussen; incidenti in Impianti (Wind-scale); massimo incidente nei reattori veloci.

ESERCITAZIONI

Esecuzione di calcoli, con programmi in Fortran ed altri linguaggi, relativi agli argomenti del corso (generatore di vapore, transienti ecc.).

TESTI CONSIGLIATI

Appunti del docente.

Cumo, *Impianti nucleari*, Ed. Utet, Torino.

IN248 MACCHINE

Prof. Paolo CAMPANARO

DIP. di Enegetica

IV ANNO
2° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	84	50	—
Settimanale (ore)	6	4	—

Nel corso sono esposti i principi termodinamici e fluidodinamici necessari ad una corretta comprensione del funzionamento delle Macchine a fluido. Di queste viene poi sviluppata l'analisi del funzionamento nei tipi di più comune impiego (sia macchine motrici sia macchine operatrici) con l'approfondimento richiesto dell'obiettivo di far diventare l'allievo nella sua futura attività professionale un accorto utilizzatore sia nella scelta delle Macchine stesse, sia nel loro esercizio. A questo scopo viene dato ampio spazio nei problemi di scelta, di installazione, di regolazione, sia in sede di lezione sia in sede di esercitazione, dove vengono esemplificate le necessarie calcolazioni.

Il corso prevede periodi di lezione e di esercitazione coordinati tra loro.

Sono nozioni propedeutiche essenziali quelle presenti nel corso di Fisica tecnica e, in parte, nel corso di Meccanica applicata alle macchine (o di Meccanica delle macchine).

PROGRAMMA

Considerazioni generali sulle macchine a fluido motrici ed operatrici. Classificazioni. Applicazione di concetti di termodinamica e fluidodinamica alle macchine. Cicli e schemi di impianti a vapore d'acqua; mezzi per migliorare il rendimento dell'impianto. Cicli rigenerativi. Impianti con produzione combinata di energia meccanica e calore. Turbine a vapore. Triangoli di velocità. Stadi ad azione e a reazione, portate, potenze, rendimento. Regolazione degli impianti. La condensazione degli impianti a vapore. Compressori di gas; classificazione, schemi di funzionamento. Generalità sui turbocompressori. Valutazione della caratteristica adimensionata d'un turbocompressore. Similitudine di funzionamento. Instabilità per stallo e pompaggio. La regolazione dei turbocompressori. Compressori volumetrici (a stantuffo, rotativi del tipo a palette e Roots). Generalità, funzionamento, perdite caratteristiche, regolazione. Turbine a gas: considerazioni termodinamiche sul ciclo; organizzazione meccanica; funzionamento e regolazione degli impianti. Ciclo con aria e ciclo con elio: analisi comparata delle due soluzioni. Macchine idrauliche motrici e operatrici; turbine Pelton, Francis, Kaplan e loro regolazione. Le turbopompe, loro regolazione. Pompe volumetriche. La cavitazione nelle turbomacchine elettriche. Le pompe-turbine. Motori alternativi a combustione interna: classificazione, cicli di lavoro. Perdite caratteristiche, rendimenti, prestazioni. Alimentazione e regolazione di tali motori.

ESERCITAZIONI

Il corso delle esercitazioni prevede applicazioni specifiche di calcolo sulle macchine trattate a lezione, con particolare attenzione a temi relativi all'impianto nucleotermoelettrico.

TESTI CONSIGLIATI

Appunti delle lezioni sono messi a disposizione degli allievi.

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

A. Beccari, *Macchine*, vol. 1, Clut, Torino, 1980.

F. Montevocchi, *Turbine a gas*, Clup, Milano, 1977.

IN270 MECCANICA DELLE MACCHINE

Prof. Giovanni JACAZIO

DIP. di Meccanica

III ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico

Lez. Es.

Lab.

Annuale (ore)

70

52

8

Settimanale (ore)

6

4

—

Il corso tratta i problemi relativi alla trasmissione della potenza e si suddivide nei seguenti capitoli fondamentali: 1) forze agenti negli accoppiamenti meccanici; 2) componenti impiegati nella trasmissione del moto; 3) dinamica dei sistemi meccanici. Il corso viene svolto mediante lezioni cattedratiche, esercitazioni (svolgimento di problemi) e laboratorio.

PROGRAMMA

Principi generali di meccanica (classificazione delle forze, equazioni fondamentali della dinamica, unità di misura).

Forze agenti negli accoppiamenti (aderenze e attrito, attrito volvente, contatti d'urto).

La trasmissione del moto (giunti, flessibili, ingranaggi, rotismi, viti, canne, meccanismi, freni, arresti, innesti, cuscinetti a rotolamento e lubrificati).

I sistemi meccanici (rappresentazione e studio dei sistemi meccanici, tecnici per l'analisi dei sistemi, sistemi lineari a parametri concentrati, sistemi lineari a parametri distribuiti, servomeccanismi, stabilità dei sistemi lineari, metodi di studio dei sistemi non lineari, sistemi meccanici non lineari).

Equilibramento dei sistemi rotanti.

Fenomeni giroscopici.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nella presentazione e risoluzione di problemi di meccanica relativi agli argomenti svolti a lezione.

LABORATORI

Nei laboratori vengono presentati alcuni componenti e meccanismi di particolare interesse.

TESTI CONSIGLIATI

G. Jacazio - B. Piombo, *Meccanica applicata alle macchine*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1977.

G. Jacazio - B. Piombo, *Esercizi di meccanica applicata alle macchine*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1982.

IN487 MECCANICA RAZIONALE

Prof. Riccardo RIGANTI

DIP. di Matematica

II ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

Corso di Laurea: ING. NUCLEARE

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

80

6

Es.

50

4

Lab.

—

—

Il corso ha come finalità l'acquisizione dei fondamenti della Meccanica e dei relativi metodi matematici di studio. Viene trattata la Meccanica del corpo rigido e dei sistemi articolati. Vengono esposti i principi fondamentali della Meccanica Newtoniana, lagrangiana e hamiltoniana, nonché i loro sviluppi analitici ed applicativi con particolare attenzione ai problemi che interessano l'Ingegneria.

Il corso consta di lezioni ed esercitazioni in aula.

Nozioni prepedeutiche: gli argomenti dei corsi di Analisi matematica, Geometria I e Fisica I.

PROGRAMMA

Cinematica: Cinematica del punto. Sistemi rigidi: moti rigidi piani, leggi di distribuzione di velocità e accelerazioni, moti composti, polari, profili coniugati, sistemi articolati. Vincoli e gradi di libertà. Estensione allo spazio degli argomenti suddetti.

Statica: Vettori applicati e momenti. Riduzione di sistemi di vettori applicati. Baricentri, momenti statici, d'inerzia e centrifughi e loro proprietà. Reazioni vincolari in assenza di attrito. Concetto di equilibrio, equazioni cardinali, principio dei lavori virtuali. Forze conservative. Stabilità. Equilibrio relativo.

Dinamica: Principio di D'Alembert, riduzione delle forze d'inerzia. Teoremi della quantità di moto e del momento delle quantità di moto. Teorema dell'energia cinetica. Equazioni di Lagrange. Integrali primi.

Elementi di calcolo delle probabilità, variabili aleatorie e processi stocastici.

Stabilità dinamica.

Meccanica analitica: Principi di Hamilton e Maupertuis; trasformazioni canoniche.

ESERCITAZIONI

Vengono proposti agli allievi, e quindi risolti analiticamente, graficamente e numericamente, problemi di carattere applicativo attinenti agli argomenti del corso.

TESTI CONSIGLIATI

Nocilla, *Meccanica razionale*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1981.

Cercignani, *Spazio, tempo, movimento*, Zanichelli, Bologna, 1976.

R. Riganti - G. Rizzi, *Elementi di Meccanica analitica*, Celid, Torino, 1979.

N. Bellomo, *Meccanica classica e stocastica*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1984.

IN281 MECCANICA STATISTICA APPLICATA

Prof. Mario RASETTI

DIP. di Fisica

V ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Fisico Strumentale

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

78

6

Es.

26

2

Lab.

—

—

Il corso intende dare agli studenti una buona conoscenza operativa nelle aree più rilevanti della Meccanica statistica: fenomeni di equilibrio, sia classici che quantistici, e di non-equilibrio; processi stocastici e teoria del trasporto; nonché fornire una serie di esempi di applicazione, soprattutto alla chimica, alla termodinamica dei fluidi reali, alla fisica dei fluidi (in particolare nei suoi aspetti di più diretto interesse per l'elettronica), alla fisica dei plasmi.

Il corso comprende lezioni ed esercitazioni teoriche.

Nozioni propedeutiche: principi generali della Fisica sia classica che moderna (termodinamica, elettromagnetismo, meccanica classica e quantistica), Matematica: generale e complementi.

PROGRAMMA

Principi fondamentali della meccanica statistica: spazio delle fasi; ergodicità e mixing; teorema di Liouville.

Fenomeni di equilibrio: il concetto di ensemble; ensemble microcanonico, canonico e gran canonico; funzione di partizione; teorema di equipartizione; gas perfetto; potenziali termodinamici.

Sistemi quantistici: Fermi-Dirac; Bose-Einstein; condensazione.

Fenomeni di non-equilibrio: teorema di Wiener; teorema di Nyquist; moto Browniano; equazione di Fokker-Planck; Random Walk.

Teoria cinetica; termodinamica dei processi irreversibili: relazioni di Onsager; teorema di fluttuazione e dissipazione.

Applicazioni: gas reale; relazioni chimiche; solidi: proprietà elettriche, elettroniche, termiche, magnetiche; processi cooperativi e transizioni di fase; polimeri; plasmi.

ESERCITAZIONI

Svolgono problemi ed esempi relativi alle applicazioni.

TESTI CONSIGLIATI

Non sono consigliati testi perché vengono distribuiti agli studenti appunti ciclostilati compilati a cura del docente.

IN301 MISURE NUCLEARI

Prof. Francesca DEMICHELIS

DIP. di Fisica

V ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Neutronico

Fisico Strumentale

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

Es.

Lab.

72

6

—

—

—

—

Il corso si propone di fornire agli allievi una rassegna sulla metodologia impiegata in misure di grandezze fisiche nucleari con particolare interesse nel campo della ingegneria nucleare.

Esso comprende unicamente ore di lezione.

PROGRAMMA

Tipi di misure nel campo della spettrometria nucleare.

Rivelazione di particelle α e β e di radiazioni γ . Spettrometria γ . Studio degli schemi di decadimento di nuclidi radioattivi.

Misure di coefficienti di conversione interna. Misure di coincidenze delle radiazioni.

Intensità delle sorgenti radioattive. Misure relative. Metodo di confronto.

Misure assolute di intensità di sorgenti radioattive. Correlazione ancolare e nella emissione delle radiazioni.

Misure nel campo della Fisica dei neutroni.

Proprietà caratteristiche dei neutroni. Relazioni fra lunghezze d'onda, energia, velocità.

Sorgenti di neutroni veloci. Sorgenti di neutroni termici. Sorgenti pulsate.

Neutroni monoenergetici di varie lunghezze d'onda.

Selettori meccanici dei neutroni.

Chopper meccanico e fenditure rettilinee. Chopper a fenditure curve. Risoluzione in energia.

Chopper fasati. Chopper a fenditure elicoidali.

Spettrometria di neutroni «Pulse-shape discrimination». Spettrometri a tempi di volo.

Misure di flussi.

Misure di sezioni d'urto. Sezioni d'urto totali. Inscattering semplice. Inscattering multiplo.

Misure di sezioni d'urto non elastiche. Misure di sezioni d'urto non elastiche con il metodo di trasmissione attraverso una sfera.

Moltiplicazione di neutroni e di misure di trasmissione.

Sezioni d'urto di cattura, di attivazione e di fissione.

Scattering di neutroni da un nucleo fisso. Sezione d'urto di scattering ad ampiezze di scattering.

Ampiezza e lunghezza di scattering. Lunghezze di scattering positive e negative. Scattering di neutroni con spin diverso da zero. Scattering magnetico. Scattering coerente ed incoerente.

Scattering da nuclei vincolati.

Proprietà ottiche dei neutroni.

Indice di rifrazione per i neutroni.

Riflessione totale di neutroni. Angolo critico. Riflessione di Bragg. Scattering a basso angolo.

Polarizzazione dei neutroni. Doppia trasmissione di neutroni polarizzati. Riflessione da specchi magnetici. Doppia riflessione dei neutroni. Esperienza sui neutroni analoga a quella di Strn Gerlach.

Misure del momento magnetico del neutrone. Misura dell'ampiezza scattering dei neutroni.

Interazione neutrone-elettrone. Misura della simmetria angolare nello scattering dei neutroni.

Misura della carica del neutrone. Effetto del campo gravitazionale sui neutroni.

Misura del decadimento dei neutroni. Neutroni ultrafreddi.

Problemi di focalizzazione di particelle cariche in campo magnetico.

Traiettorie di particelle cariche in campi magnetici. Oscillazioni betatroniche. Lenti magnetiche.

Vari tipi di lenti magnetiche. Quadrupoli magnetici.

Traiettorie di particelle cariche in un quadrupolo magnetico.

IN550 PROTEZIONE E SICUREZZA NEGLI IMPIANTI NUCLEARI

Prof. Luigi GONELLA

DIP. di Fisica

V ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Dinamica e Controllo

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

78

6

Es.

—

—

Lab.

—

—

Il corso si propone di fornire le nozioni di radioprotezione e i principi dell'analisi di sicurezza usata in campo nucleare, ponendo particolare attenzione al confronto critico con i rischi e le normative di sicurezza degli altri settori della tecnica, allo scopo di mettere in grado l'ingegnere nucleare di estendere ad altri campi i criteri protezionistici avanzati propri del nucleare.

Nozioni propedeutiche: nozioni generali di Fisica nucleare, Fisica del reattore nucleare, Impianti nucleari.

PROGRAMMA

- 1) Il concetto e la misura del rischio. Quadro globale dei rischi della vita comune e delle attività civile e industriali. Rischi d'azione e di carenze, immediati e ritardati. Legami tra il rischio e l'impatto ambientale. Metodologia generale dei sistemi di protezione e sicurezza.
- 2) Trasferimento di energia nell'interazione tra radiazione e materia. Grandezze dosimetriche. Relazione fluenza-dose per le diverse radiazioni.
- 3) Effetti biologici e sanitari delle radiazioni ionizzanti. Relazione dose-effetto. Equivalente di dose. Esposizione di una popolazione. Posizione delle radiazioni ionizzanti nel quadro generale degli agenti genotossici.
- 4) Criteri generali della radioprotezione. Dose permessibile e principio ALARA. Livelli di riferimento e stati di emergenza. Normativa internazionale e nazionale. Confronto con le normative di sicurezza e protezione in altri campi.
- 5) Metodi di valutazione dell'esposizione interna all'organismo. Concentrazioni massime permissibili.
- 6) Fondo naturale. Sorgenti industriali e miscelanee. Il reattore come sorgente di radiazione da schermare.
- 7) Metodi di dimensionamento delle schematura per gamma e neutroni.
- 8) Impostazione delle analisi di sicurezza. Il rischio dell'elettroproduzione nucleare in confronto a quello di altri mezzi di produzione di energia e nel quadro generale dei rischi.

TESTI CONSIGLIATI

Appunti dalle lezioni.

IN349 REATTORI NUCLEARI

Prof. Piero RAVETTO

DIP. di Energetica

V ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Neutronico -
Dinamico e Controllo -
Fisico Strumentale «A»

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

80

6

Es.

20

2

Lab.

—

—

Il corso è destinato agli allievi del 5° anno, che si prefiggono di approfondire gli aspetti neutronici della Ingegneria nucleare, sia in ordine ai metodi di progettazione dei noccioli, che per la soluzione dei problemi di statica e dinamica che sorgono nell'esercizio delle centrali di potenza. Rappresenta un approfondimento di argomenti tipici di Fisica dei reattori nucleari e ha lo scopo di mettere in contatto gli allievi con alcuni metodi matematici più avanzati e rigorosi di formulazione teorica della neutronica, su cui si basano attualmente i codici di progettazione per computer. Il corso si prefigge inoltre di avviare gli allievi ad affrontare problemi originali di ricerca scientifica, in neutronica applicata, specie nel campo della dinamica.

Alle lezioni teoriche seguiranno esercitazioni teoriche e numeriche di applicazioni degli argomenti trattati.

Nozioni propedeutiche: corso di Fisica del reattore nucleare.

PROGRAMMA

- 1) Teoria del trasporto di neutroni. Diverse forme della equazione di Boltzmann linearizzate per i neutroni e loro mutua equivalenza. Sviluppo in armoniche sferiche della densità in fase. Approssimazione PL e BL. Spettro neutronico in rallentamento. Metodo delle ordinate discrete e SN.
- 2) Teoria dell'assorbimento in risonanza.
- 3) Teoremi fondamentali della Fisica del reattore nucleare. Loro dimostrazione rigorosa nell'ambito delle teorie asintotiche spaziali. Calcolo delle sezioni di urto a molti gruppi energetici. Transitori di interfaccia nelle strutture moltiplicanti non omogenee.
- 4) Metodi analitici e numerici nella soluzione di problemi di dinamica spaziale dal punto di vista neutronico. Transitori di espulsione di barre di controllo da reattori nudi e riflessi. Teorema di equivalenza tra strutture moltiplicanti che evolvono con legge esponenziale pura e stazionarie. Teoria rigorosa della «funzione importanza dei neutroni». Concetto di autostati dinamici e metodi perturbativi in neutronica.
- 5) La cinetica puntiforme. Metodi di separazione. Deduzione delle equazioni della cinetica puntiforme e studio di soluzioni rigorose e approssimate. Il metodo quasistatico.
- 6) Cenni sulle particolarità della fisica dei reattori veloci autofertilizzanti.

ESERCITAZIONI

Oltre alle esercitazioni teoriche è previsto l'uso di codici numerici per lo svolgimento di alcuni calcoli tipici della neutronica dei reattori di potenza.

TESTI CONSIGLIATI

- Bell - Glasstone, *Nuclear Reactor Theory*, Van Nostrand Reinh., New York, 1970.
 B. Davison, *Neutron Transport Theory*, Oxford U.P., 1958.
 Z. Akcasu, *Mathematical methods in nuclear reactor dynamics*, Academic Press, New York, 1971.
 V. Boffi, *Fisica del reattore nucleare*, 2 voll., Patron, Bologna, 1975.
 Appunti del docente.
 J.J. Duderstadt - L.J. Hamilton, *Nuclear Reactor Analysis*, Wiley, New York, 1976.
 A. Henry, *Nuclear Reactor Analysis*, MIT Press., Cambridge Mass., 1975.

IN554 RIVELATORI DI RADIAZIONI, TRASDUTTORI E SENSORI

Prof. Aldo PASQUARELLI

DIP. di Fisica

V ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Fisico strumentale B

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

Es.

Lab.

52

—

52

4

—

4

Pur appartenendo al Corso di Laurea Nucleare, l'insegnamento intende fornire specifiche conoscenze teoriche e sperimentali nel campo delle misure di grandezze fisiche in tutti i corsi di laurea in ingegneria.

La sua interdisciplinarietà lo rende pertanto utile per tutti gli studenti che nutrono interessi nel campo delle misurazioni e acquisizione dati a livello industriale. L'opportunità del corso discende dal grande sviluppo che oggi ha conseguito lo specifico settore.

Materie propedeutiche: materie del biennio, Elettrotecnica.

PROGRAMMA

- 1) Principi fisici utilizzati nella costruzione dei sensori.
- 2) Senso di a) forza; b) pressione; c) umidità relativa; d) portata; e) velocità d'un fluido; f) temperatura; g) posizionamento; h) velocità e accelerazione.
- 3) Utilizzazione dei sensori. Loro trasformazione in trasduttori.
- 4) Problema generale delle compensazioni (in temperatura, in pressione).
- 5) Problema generale della linearizzazione.
- 6) Problema generale della sicurezza (caso particolare: sicurezza intrinseca).
- 7) Convertitori X-luce, gamma-luce, uso come trasduttori.
- 8) Trasduttori ad ultrasuoni; uso nella trasduzione di determinate grandezze fisiche.
- 9) Trasmettitori di segnale - acquisizione dati.

LABORATORI

- A) Misure di portata con flangia tarata: il rilevamento del Delta p., p e T avviene con trasduttori. La conversione in portata viene eseguita in modo analogico.
- B) Taratura d'un igrometro capacitivo.
- C) Misure di portata (gas) con sensore anemometrico.
- D) Misure di spostamento e di angolo.
- E) Modello d'acquisizione dati semplificato con gestione d'un voltmetro digitale e di una stampante.

Altre misure di interesse specifico per altri corsi di laurea possono essere prese in considerazione all'interno dell'insegnamento.

TESTI CONSIGLIATI

Petternell - Vitelli, *Strumentazione industriale*, Utet, Torino.

O. Doebelin, *Measurement Systems*, I.S.E.

Serie di monografie dei principali costruttori.

IN360 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

Prof. Franco ALGOSTINO

DIP. di Ingegneria Strutturale

III ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	50	50	8
Settimanale (ore)	4	4	—

La Scienza delle costruzioni determina lo stato di tensione e di deformazione a cui le costruzioni sono soggette nella loro funzione di trasmissione degli sforzi. Il corso considera solo le strutture unidimensionali (travi e sistemi di travi, non le piastre e i gusci). Il corso non fornisce nozioni di progettazione, per le quali rimanda ai corsi a cui è propedeutico (tecnica delle costruzioni industriali, costruzione di macchine, ecc.).

Il corso è articolato in lezioni, esercitazioni in aula, esercitazioni in laboratorio. Nozioni propedeutiche: nozioni generali di Analisi matematica, Geometria, Statica e Cinematica.

PROGRAMMA

Analisi dello stato di deformazione.

Analisi dello stato di tensione.

Equazione dei lavori virtuali.

Proprietà del corpo elastico e limiti relativi.

Teoria di St. Venant delle travi. Casi semplici e sollecitazioni composte.

Travature piane caricate nel piano, travature piane caricate trasversalmente. Travature spaziali.

Calcolo degli sforzi e delle deformazioni negli schemi isostatici e in quelli iperstatici.

Fenomeni di instabilità elastica.

ESERCITAZIONI

Consistono in applicazioni, fatte dall'allievo, della teoria svolta a lezione.

LABORATORI

Misure di spostamenti su travature semplici e loro confronto con dati di calcolo.

TESTI CONSIGLIATI

P. Cicala, *Scienza delle costruzioni*, vol. 1 e 2, Ed. Levrotto & Bella, Torino.A. Sassi - P. Bocca - G. Faraggiana, *Esercitazioni di Scienza delle costruzioni*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1977.

ESERCITAZIONI

Oltre alle esercitazioni in aula, l'Ingegneria Strutturale ha a disposizione un laboratorio di prove statiche e dinamiche. Il laboratorio è attrezzato per la misura delle deformazioni e delle forze in strutture e componenti meccanici. Sono disponibili anche i servizi di calcolo elettronico per la risoluzione di problemi di analisi strutturale.

TESTI CONSIGLIATI

Redl - Giussani, *Nuclear Reactor Theory*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1970.E. Dwyer, *Nuclear Reactor Theory*, Oxford U.P., 1953.Z. Kowalski, *Mathematical methods in nuclear reactor dynamics*, Academic Press, New York, 1971.V. Ruffé, *Fisica del reattore nucleare*, 2 vol., Pitagora, Bologna, 1973.

Appunti del docente

J. J. Duderstadt - L. J. Hamilton, *Nuclear Reactor Analysis*, Wiley, New York, 1976.A. Healy, *Nuclear Reactor Analysis*, MIT Press, Cambridge Mass., 1973.

IN559 SORGENTI DI RADIAZIONE E MACCHINE ACCELERATRICI

Docente da nominare

DIP. di Fisica

V ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZ: Fisico Strumentale

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

60

6

Es.

10

—

Lab.

—

—

Il corso si propone di dare agli studenti le nozioni fondamentali riguardanti il funzionamento, i criteri di progetto e le caratteristiche di fascio delle macchine acceleratrici più comunemente impiegate nel campo delle applicazioni, in particolare industriali e biomediche. Gli acceleratori sono visti in stretta connessione coi problemi di schematura, dosimetria, trasporto di fascio e vuoto ad essi correlati. Si danno cenni sulle sorgenti a radioisotopi e sulle loro applicazioni.

Il corso è articolato in lezioni. Sono previste alcune esercitazioni strutturate come sviluppo e complemento delle lezioni stesse.

Nozioni propedeutiche: Nozioni elementari di relatività ristretta e di Fisica nucleare.

PROGRAMMA

Cenni alla scarica nei gas. Sorgenti di ioni. Cannoni elettronici. Acceleratori ad alta tensione: funzionamento, caratteristiche costruttive e loro influenza sui parametri di fascio. Equazioni di Kerst-Serber. Ciclotrone: funzionamenti, criteri di ottimizzazione dei principali elementi costitutivi in funzione delle caratteristiche di fascio. Principio generale della stabilità di fase. Linac: klystron e guide d'onda; stabilità di fase; requisiti di potenza, dimensionamento delle guide e modi di oscillazione per cavità da elettroni, protoni e ioni pesanti; dinamica del carico di fascio. Betatrone: funzionamento; uso dei campi polarizzati orbitali e centrali per massimizzare le prestazioni delle macchine; iniezione e cenni alla teoria della cattura. Sinrotone: stabilità di fase; sinrotone per elettroni: dimensionamento delle componenti; modalità di iniezione ed estrazione; cenni al protosinrotone. Radiazione di sinrotone: caratteristiche ed impieghi. Cenni al sincrociclotrone. Schemature: dimensionamento e materiali sotto la soglia della cascata nucleare. Dosimetria: problemi di protezione di personale e attrezzature. Sistemi di trasporto dei fasci di particelle. Problemi di vuoto negli acceleratori. Cenni ad applicazioni industriali e biomediche degli acceleratori. Cenni alle sorgenti a radioisotopi ed ai loro impieghi.

ESERCITAZIONI

Dimensionamento di un impianto a vuoto per sinrotone o betatrone. Dimensionamento di un trasporto di fascio. Dimensionamento di un modello di acceleratore (linac riciclato).

TESTI CONSIGLIATI

Appunti delle lezioni.

Di volta in volta potrà essere fornito il materiale eventualmente necessario allo sviluppo delle esercitazioni (fotocopie di articoli, grafici o tabelle).

IN380 STRUMENTAZIONE FISICA

Prof. Luigi GONELLA

DIP. di Fisica

IV ANNO
2° PERIODO DIDATTICO
INDIRIZZO: Fisico Strumentale

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	90	—	—
Settimanale (ore)	6	—	—

Si presenta la problematica delle apparecchiature utilizzanti a fini applicativi fenomeni fisici che l'usuale didattica tratta solo nell'ambito dei corsi di fisica. Tali apparecchiature, ampiamente usate in vasti settori industriali, ben ricadono nella competenza degli ingegneri nucleari che hanno maggior formazione in campo fisico dei colleghi di altri rami. Si affronta il tema coll'esempio di due settori di largo interesse applicativo, la strumentazione da vuoto e quella ottica, ed una trattazione sugli sviluppi odierni della metrologia. L'enfasi vien posta sull'evoluzione di linguaggio, metodo, e definizione stessa dei problemi che si richiede per passare dall'approccio scientifico dei testi di fisica a quello ingegneristico.

Il corso prevede lezioni con alcune esercitazioni progettuali e visite d'istruzione. Nozioni propedeutiche: Biennio, Fisica tecnica, Elettrotecnica.

PROGRAMMA

Metrologia odierna: sostituzione del concetto d'incertezza a quello d'errore; tipi di grandezze misurabili; grandezze d'influenza e taratura.

Strumentazione da vuoto: fenomenologia fondamentale dei gas a bassa pressione; parametri applicativi dedotti dalla teoria, cinetica dei gas e loro limiti; unità di misura; regimi di flusso; portata di condotti; velocità di svuotamento; sorzione e degasamenti; fenomeni elettrici; getteraggio e spruzzamento; pompe e vacuometri dei vari tipi; giunzioni e valvole; tecnologia dell'impianto; misura gas residuo; cercafughe.

Strumentazione ottica: radiometria e fotometria; problematica generale dello strumento ottico; tecnologia dei fenomeni ottici; sorgenti e rivelatori di luce, compreso occhio umano; formazione d'immagini; ottica parassiale e suo trattamento matriciale; pupille e finestre; fotometria d'immagine; aberrazioni e loro correzione; la formazione d'immagine come trasferimento d'informazione; funzione di trasferimento ottico; approccio in termini di diffrazione e trasformazione di Fourier; strumentazione basata sulla deformazione dell'immagine per lo studio ottica dei materiali.

ESERCITAZIONI

Progetto di un impianto da vuoto. Calcoli fotometrici su sistemi ottici.

TESTI CONSIGLIATI

S. Allaria, *Il vuoto oggi*, Paravia TSP 4.
Appunti del corso.

IN402 TECNICA DELLE COSTRUZIONI INDUSTRIALI

Prof. Carlo Emanuele CALLARI

DIP. di Ingegneria Strutturale

V ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Termomeccanico

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

60

4

Es.

60

4

Lab.

—

—

Il corso vuole fornire allo studente una preparazione che lo renda atto alla progettazione di strutture con particolare attenzione a quelle in acciaio e in cemento armato. Sono forniti i criteri per la progettazione e verifica degli elementi strutturali nelle diverse condizioni di carico. Particolare attenzione è posta alle costruzioni industriali, la cui progettazione concreta costituisce argomento delle esercitazioni.

Il corso comprenderà lezioni ed esercitazioni in aula.

Nozioni propedeutiche: Scienza delle costruzioni.

PROGRAMMA

Premesse: criteri generali di progettazione; la concezione strutturale; le verifiche della sicurezza in campo elastico, agli stati limite ultimi ed agli stati limite di utilizzazione. La forma delle strutture (mono-bi-tridimensionali) tipologia della travatura e delle strutture reticolari, lastre, strutture tridimensionali, stati piani di sollecitazione. normativa italiana sui carichi agenti sulle strutture. Caratteristiche dei terreni e delle rocce. Spinta delle terre. Il suolo di fondazione. La progettazione degli elementi resistenti in acciaio. Gli acciai normali da costruzione. Cenni alle norme vigenti per la costruzione di strutture metalliche. il dimensionamento della struttura metallica nei riguardi delle varie caratteristiche di sollecitazione. La torsione e il taglio. Il centro di taglio. Verifica al carico di punta di elementi ad anima piena e reticolare; metodo W. Pressoflessione di travi snelle. Instabilità delle aste composte e semplici. Giunzioni chiodate e bullonate. Criteri di proporzionamento delle giunzioni. Gli appoggi delle strutture metalliche.

La progettazione degli elementi strutturali in c.a.. Strutture in c.a., caratteristiche generali, criteri di costruzione. Caratteristiche fisicomeccaniche del cls. L'aderenza. Criteri di progetto e verifica delle sezioni, elastica e agli stati limite, per compressione, trazione, flessione semplice, pressoflessione, tensoflessione. Diagrammi di interazione. Calcolo dell'apertura delle fessure. Flussione composta. Torsione. Instabilità elementi snelli in c.a. verifica elastica, calcolo allo stato limite ultimo, coperture industriali in c.a. e c.a.p., plinti di fondazione, travi rovescie.

ESERCITAZIONI

Sviluppo di un progetto di capannone industriale in cemento armato ordinario ed in acciaio.

TESTI CONSIGLIATI

Goffi - Obert, *Tecnica delle costruzioni*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1983.

Zignoli, *Costruzioni metalliche*, Utet, Torino, 1976.

Belluzzi, *Scienza delle costruzioni*, Zanichelli, Bologna, 1982.

Pozzati, *Teoria e tecniche delle strutture*, vol. 1 e 2, Utet, Torino, 1977.

IN413 TECNOLOGIA MECCANICA

Prof. Francesco SPIRITO

IST. di Meccanica

V ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Termotecnico

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

48

4

Es.

30

4

Lab.

—

—

Obiettivi del corso sono: fornire l'insieme di nozioni necessarie a comprendere come possa essere realizzato e prodotto un particolare meccanico; analizzare i diversi elementi componenti la macchina utensile in modo da fornire di quest'ultima una visione sistematica; studiare i fondamentali teorici dei processi di lavorazione con asportazione di materiale per deformazione plastica; introdurre i primi rudimenti di gestione delle macchine utensili; presentare una panoramica delle lavorazioni non convenzionali.

Il corso prevede 4 ore di lezione settimanali per la parte teorica 4 ore per la parte applicativa.

Nozioni propedeutiche: capacità di lettura di un disegno tecnico e nozioni elementari sulle caratteristiche dei materiali metallici.

PROGRAMMA

La prima parte del corso ha carattere prevalentemente propedeutico e dà un'ampia panoramica dei principali elementi componenti la macchina utensile; vengono altresì sviluppati gli aspetti teorici connessi alle operazioni di taglio con asportazione di materiale. Ampio spazio viene dedicato alle macchine utensili a C.N. sviluppandone sia l'aspetto costruttivo sia l'aspetto applicativo. Vengono trattate le basi del linguaggio di programmazione. In stretta connessione con le macchine a C.N. si parla di sistemi integrati di produzione e di Computer Assisted Manufacturing (C.A.M.). Vengono ancora trattate le lavorazioni per deformazione plastica vedendole come mezzo per l'ottenimento di semilavorati per le lavorazioni ad asportazione di truciolo. In questo capitolo del corso si dà un breve cenno delle lavorazioni sulla lamiera.

La parte finale del corso è dedicata ad una panoramica delle tecnologie di lavorazione non convenzionali (EDM, ECM, Laser, ecc.).

ESERCITAZIONI

Il corso è integrato da una serie di lezioni-esercitazioni attinenti la stesura dei cicli di lavorazione e lo studio delle principali macchine universali impiegate nella produzione meccanica; torni, trapani, fresatrici, alesatrici, rettificatrici.

TESTI CONSIGLIATI

G.F. Micheletti, *Il taglio dei metalli e le macchine utensili*, Utet, Torino.

R. Ippolito, *Appunti di Tecnologia meccanica*, Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1974.

R. Ottone, *Macchine utensili a comando numerico*, Etas Kompass.

IN426 TECNOLOGIE NUCLEARI

Prof. Evasio LAVAGNO

DIP. di Energetica

V ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Termoidraulico -

Termomeccanico -

Neutronico

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

74

6

Es.

18

2

Lab.

—

—

Nozioni base su effetto delle radiazioni sui materiali (con cenni sugli effetti radiobiologici), sui materiali nucleari (combustibili, moderatori, strutturali, ecc.) e sul ciclo del combustibile (arricchimento, progetto fabbricazione e impiego dell'elemento combustibile, ritrattamento e sistemazione dei rifiuti).

Il corso prevede lezioni e due o tre esercitazioni.

Nozioni propedeutiche: Fisica del reattore, Impianti nucleari.

PROGRAMMA

Cenni di richiamo sulle radiazioni.

Cenni sugli effetti radiobiologici e sulle norme di protezione.

Effetto delle radiazioni e delle fissioni nei solidi cristallini: nozioni generali.

I materiali nucleari, loro caratteristiche e proprietà: i combustibili, i moderatori, i materiali strutturali, i refrigeranti.

Effetto delle radiazioni nei materiali suddetti.

Il ciclo del combustibile: l'opzione del ritrattamento.

Arricchimento dell'uranio: le tecniche.

Teoria e pratica della cascata.

Progetto e costruzione dell'elemento di combustibile.

Ritrattamento del combustibile usato: cenni.

Sistemazione dei prodotti di ritrattamento.

Economia del ciclo di combustibile.

ESERCITAZIONI

Calcoli dei materiali nel ciclo di combustibile. Calcolo della resistenza di una barra di combustibile.

TESTI CONSIGLIATI

M. Cumo, *Impianti nucleari*, Torino, Utet.

AA.VV., *Il ciclo del combustibile*, CNEN.

IN571 TERMOCINETICA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI

Prof. Mario MALANDRONE

DIP. di Energetica

IV ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Termoidraulico -

Termomeccanico -

Neutronico

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

80

6

Es.

28

2

Lab.

—

—

Il corso di Termocinetica è strutturato in modo da approfondire l'omonimo capitolo della Fisica tecnica, con particolare riguardo alla metodologia, e ha il fine di fornire allo studente in Ingegneria nucleare gli strumenti di base per poter affrontare in modo rigoroso lo studio termoidraulico di un reattore nucleare. A causa della generalità e del peso dato ai metodi per affrontare problemi di moto dei fluidi e di scambio termico, il corso può essere consigliato anche a studenti in Ingegneria meccanica e aeronautica.

Il corso si svolgerà con lezioni ed esercitazioni.

Nozioni propedeutiche: Complementi di matematica e Fisica tecnica.

PROGRAMMA

Il programma comprende l'analisi dei processi di trasferimento di massa, di energia e di quantità di moto nei fluidi con particolare riferimento ai fluidi usati come refrigeranti dei reattori nucleari di potenza. Viene inoltre studiato in profondità il problema della conduzione nei solidi. Dopo aver illustrato le proprietà termodinamiche e di trasporto dei fluidi e dei solidi, si fa cenno alla statica dei fluidi e quindi si esaminano le equazioni di conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto, che vengono applicate ai condotti chiusi, per fluidi ideali e viscosi: equazioni di Bernoulli e di Navier-Stokes. Viene studiato il concetto di turbolenza e la teoria dello strato limite. Vengono illustrate le formulazioni per la determinazione del profilo di velocità e delle cadute di pressione nei condotti chiusi. Viene quindi approfondito il meccanismo di trasferimento del calore: modelli di Leveque, Graetz, Eckert (moto laminare); modelli di Reynolds, Prandtl, Von Karman e Martinelli (moto turbolento). Dopo un cenno sull'analisi dimensionale si analizzano le formulazioni per il coefficiente di scambio termico. Si studiano poi la convezione naturale e lo scambio termico nei metalli liquidi. Si analizzano infine problemi di conduzione in geometria complesse, come le alette, e in condizioni bidimensionali e tridimensionali, stazionarie e non stazionarie, con particolare riferimento ai solidi generanti calore (tipici dei reattori nucleari). Si esaminano i metodi numerici per la risoluzione delle equazioni più generali della conduzione.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni comprendono la risoluzione di numerosi problemi sia di meccanica dei fluidi che di scambio termico.

TESTI CONSIGLIATI

B. Panella, *Lezioni di Termocinetica*, Clut, Torino.

Knudsen - Katw, *Fluid Dynamics and Heat Transfer*, McGraw Hill.

Eckert - Drake, *Heat and Mass Transfer*, McGraw Hill.

Carslaw - Jaeger, *Conduction of Heat in Solids*, Oxford University Press.

M. Cumo, *Elementi di termotecnica del reattore*, Ed. CNEN.

IN573 TERMOIDRAULICA BIFASE DEGLI IMPIANTI NUCLEARI

Prof. Evasio LAVAGNO

DIP. di Energetica

IV ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Termoidraulico

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

78

6

Es.

26

2

Lab.

6

—

Il corso è strutturato in modo da fornire agli studenti del corso di laurea nucleare i modelli interpretativi dei fenomeni connessi allo scambio termico e al moto dei fluidi bifase per il calcolo termo-idraulico dei circuiti degli impianti di potenza (con particolare attenzione agli impianti nucleari) il corso può essere consigliato anche a studenti dei corsi di laurea in Meccanica e Chimica.

Il corso prevede lezioni, esercitazioni, visite a laboratori.

Nozioni propedeutiche: Fisica tecnica, Termocinetica degli impianti nucleari.

PROGRAMMA

Il programma del corso estende l'analisi dei processi di trasferimenti di massa, di energia e di quantità di moto, già svolta nel corso di Termocinetica per i fluidi monofase, al caso delle miscele bifase utilizzate come refrigeranti nei reattori nucleari di potenza.

La prima parte del corso tratta i problemi associati alla idrodinamica dei fluidi bifase. Dopo aver descritto i caratteri distintivi dei vari tipi di moto esistenti nei deflussi adiabatici e diabatici, ed aver fornito i criteri per la loro individuazione, si esaminano le equazioni di conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto per i fluidi bifase al fine di valutare le cadute di pressione nei condotti sia adiabatici che diabatici. Vengono presentati i modelli analitici e le correlazioni empiriche per i vari tipi di moto del fluido. Questa prima parte comprende inoltre la trattazione degli efflussi critici e dell'instabilità dei deflussi bifase.

La seconda parte del corso inizia con il capitolo dedicato alla fenomenologia dell'ebollizione sia nel caso di fluido stagnante che nel caso di circolazione forzata. Dopo aver trattato gli aspetti fondamentali del fenomeno dell'ebollizione nucleata, sono presentati i modelli analitici e le correlazioni empiriche che interpretano i fenomeni della generazione della fase gassosa e i meccanismi di trasmissione del calore associati. Successivamente sono descritti i fenomeni associati alla crisi termica e sono presentate le correlazioni che consentono la previsione dell'evento. L'ultimo capitolo di questa parte è dedicato ai fenomeni di scambio termico in utra-crisi.

La terza parte del corso tratta i fenomeni di instabilità termoidraulica che si instaurano nei circuiti sia nel caso di canale singolo che nel caso di canali in parallelo.

La quarta parte del corso analizza in dettaglio i fenomeni della condensazione.

Nello svolgimento del programma vengono inoltre descritti i metodi e le apparecchiature utilizzati per la misura delle grandezze caratteristiche della termoidraulica dei deflussi bifase.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nella soluzione di problemi termoidraulici bifase.

LABORATORI

Visite precedute da brevi presentazioni alle esperienze in corso presso il Dipartimento di Energetica.

TESTI CONSIGLIATI

J.G. Collier, *Convective Boiling and Condensation*, McGraw Hill, 1972.

G.B. Wallis, *One dimensional two-phase flow*, McGraw Hill, 1969.

G.F. Hewitt - N.S. Hall-Taylor, *Annular two-phase flow*, Pergamon Press, 1970.

L.S. Tong, *Boiling heat Transfer and two-phase flow*, Wiley.

IN448 TERMOTECNICA DEL REATTORE

Prof. Bruno PANELLA

DIP. di Energetica

V ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Termoidraulico

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez. Es.

80 28

6 2

Lab.

4

—

Le finalità del corso sono di approfondimento del funzionamento termico e idraulico dei reattori nucleari, con particolare attenzione per i reattori ad acqua leggera e per i reattori veloci, vengono forniti gli strumenti teorici e di calcolo per il progetto termoidraulico del nocciolo dei reattori nucleari.

Il corso si svolgerà con lezioni ed esercitazioni. È prevista una visita al laboratorio di Impianti nucleari del Politecnico.

Nozioni propedeutiche: Fisica tecnica, Termocinetica degli impianti nucleari, Termocinetica, Termoidraulica bifase degli impianti nucleari, Trasmissione del calore, Impianti nucleari.

PROGRAMMA

Descrizione dei vari tipi di reattori nucleari dal punto di vista del funzionamento termoidraulico e confronto dei principali parametri termotecnici. Fluidi refrigeranti. Metodologia del progetto del nocciolo dei reattori nucleari e interdipendenza tra le varie fasi progettuali, in particolare tra progetto nucleare e progetto termoidraulico. Applicazione della metodologia ai reattori veloci. Richiami del progetto nucleare. Generazione di potenza termica durante la vita del nocciolo. Progetto termoidraulico: limiti termici di progetto e procedure di progettazione. Fattori di canale caldo per il flusso e l'entalpia. Progetto termoidraulico dei reattori ad acqua: dimensionamento di massima del nocciolo; progetto termico barretta di combustibile; crisi termica; scelta della pressione; calcolo del generatore di vapore; ottimizzazione delle prestazioni termiche; orifiziatura; fattori di forma nucleari; distribuzione di potenza; distribuzione di portata; calcolo del canale caldo del nocciolo di un PWR e di un BWR; scambio termico e moto dei fluidi bifase nel BWR; codici di calcolo; mescolamento tra sottocanali degli elementi di combustibile a fascio di barre; analisi statistica dei fattori ingegneristici; canale caldo. Reattori veloci: aspetti particolari dei sistemi refrigerati con metalli liquidi: scambio termico e fluidodinamica con metalli liquidi; problemi relativi all'ebollizione dei metalli liquidi; calcolo termoidraulico del nocciolo dei reattori veloci; calcolo termodinamico e fluidodinamico dei generatori di vapore per reattori veloci.

ESERCITAZIONI

Esecuzione del calcolo termoidraulico del nocciolo dei reattori ad acqua. Calcolo termoidraulico del generatore di vapore di un reattore veloce.

LABORATORI

Visita al laboratorio e rilevazione delle principali grandezze termoidrauliche di un circuito bolente di simulazione di un impianto reale.

TESTI CONSIGLIATI

M. Cumo, *Elementi di Termotecnica del Reattore*, Comitato Nazionale Energia Nucleare, RT/ING (69) 18.

R.T. Lahey - Jr. F.J. Moody, *The Thermal-Hydraulics of a Boiling Water Nuclear Reactor*, Ed. American Nuclear Society.

L.S. Tong - J. Weisman, *Thermal Analysis of Pressurized Water Reactor*, Ed. American Nuclear Society.

B. Panella, *Reattori nucleari ad acqua leggera, Termoidraulica del nocciolo*, Ed. Celid.

J.G. Yevick - A. Amorosi, *Fast Reactor Technology: Plant Design*, Ed. M.I.T. Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (Massachusetts) and London (England).

INDICE ALFABETICO DEGLI INSEGNAMENTI

Codice Insegnamento

IN001 ACQUEDOTTI E FOGNATURE
IN495 ACUSTICA APPLICATA
IN003 AERODINAMICA
IN004 AERODINAMICA II
IN005 AERODINAMICA SPERIMENTALE
IN574 AEROELASTICITÀ
IN006 AERONAUTICA GENERALE
IN008 ANALISI DEI MINERALI
IN496 ANALISI DEI SISTEMI ELETTRICI DI POTENZA
IN456 ANALISI MATEMATICA I
IN457 ANALISI MATEMATICA I

IN458 ANALISI MATEMATICA I

IN459 ANALISI MATEMATICA I
IN460 ANALISI MATEMATICA II
IN461 ANALISI MATEMATICA II
IN013 ANALISI MATEMATICA II
IN014 ANALISI MATEMATICA II
IN015 ANALISI MATEMATICA II
IN018 ANTENNE
IN020 APPARECCHIATURE DI MANOVRA E INTERRUZIONE
IN019 APPARECCHI ELETTRICI DI COMANDO
IN582 APPLICAZIONI DELLA MATEMATICA ALL'ECONOMIA
IN022 APPLICAZIONI ELETTROMECCANICHE
IN023 APPLICAZIONI INDUSTRIALI DELL'ELETTROTECNICA
IN498 APPLICAZIONI MATEMATICHE PER L'ELETTRONICA
IN024 ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA

Docente

M. Quaglia
A. Sacchi
F. Cuori
M. Pandolfi
D.d.N.
C. Chiocchia
A. Lausetti
E. Matteucci
R. Napoli
S. Viti
P. Boieri - A. R. Scarafiotti Abete
M. Pandolfi
A. R. Scarafiotti Abete
G. Geymonat
A. R. Scarafiotti Abete
M. Rolando Leschiutta
P. Moroni
A. Bacciotti
D.d.N.
F. Ricci - M. Mascarello Rodino
M. Orefice
G. Cantarella
M. Tosoni
C. Montrucchio
F. Donati
E. Giuffrida
G. Teppati
E. Innaurato

IN026	ARCHITETTURA ED URBANISTICA TECNICHE	E. Desideri
IN027	ARCHITETTURA TECNICA	V. Borasi
IN027	ARCHITETTURA TECNICA	P. Scarzella
IN029	ARCHITETTURA TECNICA II	M. Fiameni
IN030	ARTE MINERARIA	S. Pelizza
IN031	ATTREZZATURE DI PRODUZIONE	A. De Filippi
IN032	AUTOMAZIONE	B. Bona
IN032	AUTOMAZIONE (ELETTROTECNICI)	D.d.N.
IN033	AUTOMAZIONE A FLUIDO E FLUIDICA	G. Belforte
IN034	AUTOMAZIONE DELLE MISURE ELETTRONICHE E TELEMISURE	U. Pisani
IN583	AZIONAMENTI ELETTRICI	A. Vagati
IN036	CALCOLATORI E PROGRAMMAZIONE	A. Serra
IN040	CALCOLO E PROGETTO DI MACCHINE	P. M. Calderale
IN041	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	P. Moroni
IN041	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	G. Monegato
IN586	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	C. Dagnino
IN042	CALCOLO STRUTTURALE DI COMPONENTI NUCLEARI	R. Ciuffi
IN043	CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI	R., Zich
IN044	CATALISI E CATALIZZATORI (sem.)	G. Gozzelino M.
IN464	CHIMICA	C. Brisi - M. Montorsi
IN465	CHIMICA	C. Brisi - E. Angelini
IN462	CHIMICA	M. Vallino - N. Penazzi
IN463	CHIMICA	G. Grassi - G. Acquarone - E. Angelini
IN501	CHIMICA ANALITICA INDUSTRIALE PER L'INGEGNERIA	M. P. Prati Gaglia
IN047	CHIMICA APPLICATA	G. Brisi
IN048	CHIMICA APPLICATA	F. Abbattista
IN048	CHIMICA APPLICATA	G. Pradelli
IN049	CHIMICA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI	G. B. Saracco
IN050	CHIMICA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI CERAMICI E REFRATTARI	D.d.N.
IN051	CHIMICA FISICA	M. Maja

IN053	CHIMICA INDUSTRIALE	G. B. Saracco
IN502	CHIMICA MACROMOLECOLARE E TECNOLOGIA DEGLI ALTI POLIMERI	A. Priola
IN056	CHIMICA ORGANICA	F. Ferrero
IN058	CHIMICA TESSILE	F. Ferrero
IN503	COLTIVAZIONE E GESTIONE DELLE CAVE (sem.)	M. Fornaro
IN062	COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA (ex IN409 TECNICA IMPULSIVA)	E. Nano
IN064	COMPLEMENTI DI CAMPI ELETTROMAGNETICI	D.d.N.
IN065	COMPLEMENTI DI CONTROLLI AUTOMATICI	M. Vallauri
IN069	COMPLEMENTI DI IDRAULICA	G. Bianco
IN070	COMPLEMENTI DI IMPIANTI NUCLEARI	G. Deltin
IN584	COMPLEMENTI DI MACCHINE ELETTRICHE	M. Lazzari
IN071	COMPLEMENTI DI MATEMATICA	R. Ascoli - G. Teppati
IN072	COMPLEMENTI DI MATEMATICA	P. P. Civalleri
IN073	COMPLEMENTI DI MATEMATICA	L. Pandolfi
IN074	COMPLEMENTI DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	P. Vallini
IN504	COMPLEMENTI DI TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI	D. Marocchi
IN077	COMPLEMENTI DI TOPOGRAFIA	S. Dequal
IN079	COMPONENTI ELETTRONICI	C. Naldi
IN587	COMPOSIZIONE URBANISTICA	D.d.N.
IN478	COMINUCAZIONI ELETTRICHE (gen.)	V. Castellani
IN479	COMUNICAZIONI ELETTRICHE (spec.)	M. Pent
IN081	CONSOLIDAMENTO DI ROCCE E TERRENI (gen.)	G. Barla
IN488	CONTROLLI AUTOMATICI	E. Canuto
IN489	CONTROLLI AUTOMATICI (spec.)	G. Menga
IN082	CONTROLLI AUTOMATICI	G. Fiorio
IN087	CONTROLLO DEI PROCESSI	E. Canuto
IN089	CONTROLLO OTTIMALE	D. Carluccio
IN090	CORROSIONE E PROTEZIONE DEI MATERIALI METALLICI	M. Maja
IN091	COSTRUZIONE DI GALLERIE (sem.)	N. Innaurato

- IN093 COSTRUZIONE DI MACCHINE
 IN492 COSTRUZIONE DI MACCHINE
 IN493 COSTRUZIONE DI MACCHINE
 IN095 COSTRUZIONE DI MACCHINE PER L'INDUSTRIA CHIMICA
 IN096 COSTRUZIONE DI MATERIALE FERROVIARIO
 IN097 COSTRUZIONE DI MOTORI PER AEROMOBILI
 IN098 COSTRUZIONE DI MOTORI PER MISSILI
 IN100 COSTRUZIONE DI STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO
 IN506 COSTRUZIONE E TECNOLOGIE DELLA GOMMA E
 DEL PNEUMATICO
 IN101 COSTRUZIONI AERONAUTICHE
 IN103 COSTRUZIONI AERONAUTICHE II
 IN104 COSTRUZIONI AUTOMOBILISTICHE
 IN507 COSTRUZIONI BIOMECCANICHE
 IN106 COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI
 IN107 COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI II
 IN108 COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE
 IN109 COSTRUZIONI IDRAULICHE
 IN110 DINAMICA DEL MISSILE
 IN113 DINAMICA DEL VOLO
 IN114 DINAMICA E CONTROLLO DEGLI IMPIANTI NUCLEARI
 IN509 DISCIPLINA GIURIDICA DELLE ATTIVITÀ
 TECNICO-INGEGNERISTICHE
 IN466 DISEGNO
 IN468 DISEGNO
 IN469 DISEGNO
 IN118 DISEGNO EDILE
 IN119 DISEGNO MECCANICO
 IN480 DISEGNO MECCANICO
 IN481 DISEGNO MECCANICO
 IN120 DISEGNO TECNICO
- G. Curti
 G. Bongiovanni
 A. Gugliotta
 M. Gola
 G. Roccati
 G. Genta
 A. Gugliotta
 D.d.N.
 A. Priola
 P. Morelli
 G. Surace
 A. Morelli
 P. M. Calderale
 C. Castiglia
 C. De Palma
 C. Zimaglia
 L. Butera
 C. Grillo Pasquarelli
 P. Morelli
 M. De Salve
 L. Orusa
 S. Coppo
 G. Palmieri - G. Russo
 G. Palmeri
 M. Oreglia
 E. Chirone
 E. Chirone
 S. Manzoni
 G. Colosi

- | | | |
|-------|---|---|
| IN121 | DISPOSITIVI ELETTRONICI ALLO STATO SOLIDO | C. Naldi |
| IN122 | DOCUMENTAZIONE ARCHITETTONICA | R. Nelva |
| IN510 | ECONOMIA DEI SISTEMI AEROSPAZIALI | G. Guerra |
| IN127 | ECONOMIA E TECNICA AZIENDALE | N. Dellepiane - A. Caridi |
| IN132 | ELEMENTI DI ELETTRONICA | M. Giordana |
| IN137 | ELETTROCHIMICA | S. Spinelli |
| IN138 | ELETTROMETALLURGIA | B. De Benedetti |
| IN139 | ELETTRONICA APPLICATA | D.d.N. |
| IN140 | ELETTRONICA APPLICATA I | M. Giordana - F. Mussino |
| IN141 | ELETTRONICA APPLICATA II | U. Pozzolo - D. Biey |
| IN143 | ELETTRONICA APPLICATA ALL'AERONAUTICA | A. Arcidiacono |
| IN145 | ELETTRONICA NUCLEARE | M. Vallauri |
| IN146 | ELETTRONICA PER TELECOMUNICAZIONI | D. Del Corso |
| IN149 | ELETTROTECNICA | M. Tartaglia |
| IN151 | ELETTROTECNICA | V. Daniele |
| IN482 | ELETTROTECNICA | E. Arri - E. Barbisio |
| IN483 | ELETTROTECNICA | A. Abete |
| IN153 | ELETTROTECNICA I | P. P. Civalleri |
| IN154 | ELETTROTECNICA II | L. Piglione |
| IN155 | ELICHE ED ELICOTTERI | S. D'Angelo |
| IN585 | ERGOTECNICA EDILE | F. Ossola |
| IN588 | ESERCIZIO DEI SISTEMI DI TRASPORTO | A. Crotti |
| IN159 | ESTIMO | F. Ossola |
| IN472 | FISICA I | E. Miraldi - A. Strigazzi -
A. Pasquarelli |
| IN473 | FISICA I | C. Buzano Pescarmona |
| IN470 | FISICA I | M. Guidetti - M. Bosco Masera |
| IN471 | FISICA I | O. Borello Filisetti - M. Omini -
A. Strigazzi |
| IN484 | FISICA II | A. Tartaglia |
| IN164 | FISICA II | P. Valabrega Taverna |

IN165 FISICA II
IN166 FISICA II
IN485 FISICA II
IN167 FISICA ATOMICA
IN168 FISICA DEI FLUIDI E MAGNETOFLUIDODINAMICA
IN170 FISICA DELLO STATO SOLIDO
IN171 FISICA DEL REATTORE NUCLEARE
IN598 FISICA DEL SUOLO E STABILITÀ DEI PENDII
IN172 FISICA MATEMATICA
IN173 FISICA NUCLEARE
IN174 FISICA TECNICA
IN174 FISICA TECNICA
IN175 FISICA TECNICA
IN176 FISICA TECNICA
IN177 FISICA TECNICA
IN178 FISICA TECNICA
IN178 FISICA TECNICA
IN513 FLUIDODINAMICA
IN181 FLUIDODINAMICA DELLE TURBOMACCHINE
IN182 FOTOGAMMETRIA
IN183 FOTOGAMMETRIA APPLICATA
IN184 GARDINAMICA
IN185 GARDINAMICA II
IN186 GENERATORI DI CALORE
IN190 GEOFISICA APPLICATA
IN193 GEOLOGIA
IN514 GEOLOGIA APPLICATA
IN476 GEOMETRIA I
IN477 GEOMETRIA I
IN474 GEOMETRIA I

A. Tartaglia - F. Demichelis -
P. Quarati - E. Mezzetti
L. Trossi
E. Mezzetti
C. Oldano
M. Germano
P. Mazzetti
S. E. Corno
G. P. Giani
G. Rizzi
B. Minetti
V. Ferro
P. Gregorio
C. Boffa
C. Lombardi
A. Sacchi
P. Anglesio
M. Cali
C. Cancelli
L. Zannetti
B. Astori
C. Lesca
G. Jarre
M. Onorato
A. M. Barbero
E. Armando
S. Zucchetti
M. Civita
A. Massaza - P. Valabrega
C. Massaza
A. Sanini

IN475 GEOMETRIA I
IN515 GEOSTATICA MINERARIA ED APPLICATA
IN198 GEOTECNICA
IN199 GEOTECNICA II
IN203 GIACIMENTI MINERARI
IN204 IDRAULICA
IN205 IDRAULICA
IN206 IDRAULICA
IN517 IDROGEOLOGIA APPLICATA
IN207 IDROLOGIA TECNICA
IN518 ILLUMINOTECNICA
IN210 IMPIANTI CHIMICI
IN212 IMPIANTI CHIMICI II
IN213 IMPIANTI DI BORDO PER AEROMOBILI
IN216 IMPIANTI ELETTRICI
IN218 IMPIANTI ELETTRICI II
IN219 IMPIANTI IDROELETTRICI
IN220 IMPIANTI MECCANICI
IN220 IMPIANTI MECCANICI
IN221 IMPIANTI MECCANICI II
IN222 IMPIANTI MINERALURGICI (sem.)
IN223 IMPIANTI MINERARI
IN224 IMPIANTI MINERARI II (sem.)
IN225 IMPIANTI MOTORI ASTRONAUTICI
IN226 IMPIANTI NUCLEARI
IN227 IMPIANTI NUCLEO E TERMOELETTRICI
IN228 IMPIANTI SPECIALI IDRAULICI
IN589 IMPIANTI TECNIC (ex IN520 impianti termotecnici)
IN521 IMPIANTI TERMOTECNICI
IN233 INDUSTRIALIZZAZIONE E UNIFICAZIONE EDILIZIA
IN523 INGEGNERIA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI

N. Chiarli - S. Greco - C. Massaza
G. P. Giani
M. Jamiolkovski
E. Pasqualini
S. Zucchetti
G. Pezzoli
L. Butera
E. Buffa
M. Civita
S. T. Sordo
A. Mazza
A. Gianetto
R. Conti
S. Chiesa
R. Pomè
B. Colombo
P. Moscas
A. Monte
G. Bauducco
A. Chiaraviglio
C. Clerici
G. Gecchele
M. Patrucco
N. Nervegna
C. Arneodo
G. Brossa
M. Schiara
G. Ruscica
V. Ferro
P. Bardelli
A. Di Molfetta

IN235	INGEGNERIA DELL'ANTI-INQUINAMENTO	V. Specchia
IN524	INGEGNERIA SISMICA E PROBLEMI DINAMICI SPECIALI	L. Goffi
IN239	ISTITUZIONI DI ELETTROMECCANICA	G. Pessina
IN525	ISTITUZIONI DI STATISTICA	D.d.N.
IN526	LAVORAZIONE PER DEFORMAZIONE PLASTICA	G. Perotti
IN242	LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE E COMPILAZIONE (ex IN491 SISTEMI DI ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE)	A. R. Meo
IN245	LITOLOGIA E GEOLOGIA APPLICATE	G. Bottino
IN246	MACCHINE	P. Nuccio
IN247	MACCHINE	M. Andriano
IN248	MACCHINE	P. Campanaro
IN249	MACCHINE I	A. E. Catania
IN250	MACCHINE I (corso unico per meccanici)	A.E. Catania
IN251	MACCHINE E IMPIANTI ELETTRICI	A. Coffano
IN590	MACCHINE ED ORGANIZZAZIONE DEI CANTIERI (ex IN389 TECNICA DEI CANTIERI)	G. Caposio
IN253	MACCHINE ELETTRICHE	P. Ferraris
IN528	MACCHINE ELETTRICHE STATICHE	F. Villata
IN257	MATEMATICA APPLICATA	N. Bellomo - M. Pandolfi
IN259	MATERIALI PER L'ELETTRONICA	C. Gianoglio
IN262	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	F. Vatta
IN263	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	G. Belforte
IN264	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE E MACCHINE	G. Ricci
IN532	MECCANICA BIOMEDICA APPLICATA	F. Quagliotti
IN533	MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO	G. Verga
IN534	MECCANICA DEI ROBOT	A. Romiti
IN269	MECCANICA DELL'AUTOVEICOLO	G. Genta
IN270	MECCANICA DELLE MACCHINE	G. Jacazio
IN271	MECCANICA DELLE MACCHINE E MACCHINE	V. Marchis
IN272	MECCANICA DELLE ROCCE	G. Barla
IN273	MECCANICA DELLE VIBRAZIONI	B. Piombo

IN486 MECCANICA RAZIONALE
IN487 MECCANICA RAZIONALE
IN277 MECCANICA RAZIONALE
IN279 MECCANICA RAZIONALE

IN280 MECCANICA RAZIONALE
IN275 MECCANICA PER L'INGEGNERIA CHIMICA
IN281 MECCANICA STATISTICA APPLICATA
IN535 MECCANICA SUPERIORE PER INGEGNERI
IN283 METALLURGIA E METALLOGRAFIA
IN284 METALLURGIA FISICA
IN290 METROLOGIA DEL TEMPO E DELLA FREQUENZA
IN291 METROLOGIA GENERALE E MISURE MECCANICHE
IN294 MINERALOGIA E LITOLOGIA
IN295 MISURE CHIMICHE E REGOLAZIONI
IN296 MISURE ELETTRICHE
IN297 MISURE ELETTRICHE
IN300 MISURE ELETTRONICHE
IN595 MISURE ELETTRONICHE A
IN596 MISURE ELETTRONICHE B
IN597 MISURE ELETTRONICHE C
IN301 MISURE NUCLEARI
IN303 MISURE TERMICHE E REGOLAZIONI
IN306 MODELLISTICA E IDENTIFICAZIONE
IN308 MOTORI PER AEROMOBILI
IN310 MOTORI PER MISSILI
IN309 MOTORI TERMICI PER TRAZIONE
IN311 OLEODINAMICA E PNEUMATICA
IN314 ORGANIZZAZIONE DELLE MACCHINE NUMERICHE
IN316 OTTICA APPLICATA
IN591 OTTICA QUANTISTICA

M. G. Chiadò - Piat Zavattaro
R. Riganti
M. T. Vacca
N. Bellomo - J. Vacca -
M. G. Zavattaro
E. Marcante
N. D'Alfio
M. Rasetti
S. Nocilla
D. Firrao
P. Appendino
S. Leschiutta
A. Bray
G. Magnano
G. C. Baldi
I. Gorini
A. Abete
U. Pisani - L. Leschiutta
U. Pisani
S. Leschiutta
F. Ferraris
F. Demichelis
L. Crovini
V. Mauro
G. Bussi
G. Colasurdo
C. V. Ferraro
N. Nervegna
M. Mezzalama
C. Oldano
M. Vadacchino

IN319 PETROGRAFIA
IN320 PETROLCHIMICA
IN592 PIANIFICAZIONE URBANISTICA
IN541 PREFABBRICAZIONE STRUTTURALE
IN325 PREPARAZIONE DEI MINERALI
IN326 PRINCIPI DI GEOMECCANICA
IN327 PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA
IN542 PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II
IN543 PROCESSI BIOLOGICI INDUSTRIALI
IN544 PROCESSI MINERALURGICI (sem.)
IN330 PRODUZIONE DI CAMPO E TRASPORTO DEGLI IDROCARBURI
IN546 PROGETTO DELLE CARROZZERIE
IN335 PROGETTO DI AEROMOBILI
IN336 PROGETTO DI AEROMOBILI II
IN337 PROGETTO DI APPARECCHIATURE CHIMICHE
IN341 PROPAGAZIONE DI ONDE ELETTROMAGNETICHE
IN340 PROPULSORI ASTRONAUTICI
IN549 PROSPEZIONE GEOFISICA
IN343 PROSPEZIONE GEOMINERARIA
IN550 PROTEZIONE E SICUREZZA NEGLI IMPIANTI NUCLEARI
IN347 RADIOTECNICA
IN551 REATTORI CHIMICI
IN349 REATTORI NUCLEARI
IN552 REGOLAZIONI AUTOMATICHE
IN353 REPERIMENTO DELL'INFORMAZIONE
(ex IN385 STRUTTURE INFORMATIVE)
IN354 RETI DI TELECOMUNICAZIONI
IN355 RICERCA OPERATIVA
IN553 RILEVAMENTO GEOLOGICO TECNICO (sem.)
IN555 RILIEVI E MISURAZIONI GEOMECCANICHE (sem.)
IN554 RIVELATORI DI RADIAZIONE, TRASDUTTORI E SENSORI

R. Sandrone
G. Gozzelino
E. Desideri
P. Palumbo
E. Occella
O. Del Greco
S. Sicardi
G. C. Baldi
G. Genon
A. Frisa Morandini
R. Varvelli
A. Morelli
E. Antona
G. Romeo
U. Fasoli
G. E. Perona
L. Zannetti
E. Armando
P. Natale
L. Gonella
E. Nano
S. Sicardi
P. Ravetto
A. Villa
D.d.N.

D.d.N.
A. M. Ostanello
G. Barisone
O. Del Greco
A. Pasquarelli

- IN358 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI
 IN359 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI
 IN360 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI
 IN361 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI
 IN362 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI
 IN363 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI II
 IN556 SICUREZZA E NORMATIVA NELL'INDUSTRIA ESTRATTIVA (sem.)
 IN557 SICUREZZA STRUTTURALE
 IN365 SIDERURGIA
 IN367 SINTESI DELLE RETI ELETTRICHE
 IN490 SISTEMI DI ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE (gen.)
 IN368 SISTEMI DI ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE
 IN369 SISTEMI DI ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE II
 IN370 SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE
 IN558 SISTEMI ELETTRICI ED ELETTRONICI DELL'AUTOVEICOLO
 IN372 SISTEMI OPERATIVI
 IN559 SORGENTI DI RADIAZIONE E MACCHINE ACCELERATRICI
 IN560 SPERIMENTAZIONE E AFFIDABILITÀ DELL'AUTOVEICOLO
 IN561 SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE A FLUIDO
 IN562 SPERIMENTAZIONE SU MATERIALI E STRUTTURE
 IN380 STRUMENTAZIONE FISICA
 IN381 STRUMENTAZIONE PER BIOINGEGNERIA
 IN382 STRUMENTAZIONE PER L'AUTOMAZIONE
 IN383 STRUMENTI DI BORDO
 IN384 STRUTTURE AEROMISSILISTICHE
 IN385 STRUTTURE INFORMATIVE
 (ex IN490 SISTEMI DI ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE)
 IN386 TECNICA DEGLI ENDOREATTORI
 IN388 TECNICA DEGLI SCAVI E DEI SONDAGGI
 IN391 TECNICA DEI SISTEMI NUMERICI (sem.)
 IN563 TECNICA DEI SONDAGGI PETROLIFERI
- E. Leporati
 P. Marro
 F. Algostino
 R. Carpinteri
 A. M. Sassi-Perino
 F. Algostino
 M. Patrucco
 E. Leporati
 A. Burdese
 C. Beccari
 A. Laurentini
 D.d.N.
 E. Piccolo
 D.d.N.
 E. Panizza
 P. Laface
 D.d.N.
 P. F. Rivolo
 E. Antonelli
 P. G. Debernardi
 L. Gonella
 R. Merletti
 P. Soardo
 L. Borello
 E. Antona
 A. Laurentini

 G. Colasurdo
 R. Mancini
 E. Piccolo
 G. Baldini

- IN564 TECNICA DEL FREDDO
 IN565 TECNICA DELLA PROGRAMMAZIONE
 IN393 TECNICA DELLA REGOLAZIONE
 IN566 TECNICA DELLA SICUREZZA AMBIENTALE
 IN394 TECNICA DELLA SICUREZZA NELLE APPLICAZIONI ELETTRICHE
 IN398 TECNICA DELLE COSTRUZIONI I
 IN401 TECNICA DELLE COSTRUZIONI II
 IN402 TECNICA DELLE COSTRUZIONI INDUSTRIALI
 IN403 TECNICA DELLE IPERFREQUENZE
 IN567 TECNICA DEL TRAFFICO E DELLA CIRCOLAZIONE
 IN407 TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI
 IN410 TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA
 IN410 TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA
 IN411 TECNOLOGIA DEI MATERIALI METALLICI
 IN593 TECNOLOGIA DELLA PRODUZIONE EDILIZIA
 IN413 TECNOLOGIA MECCANICA
 IN414 TECNOLOGIA MECCANICA
 IN415 TECNOLOGIA MECCANICA II
 IN568 TECNOLOGIA, RAPPRESENTAZIONI PROGETTUALI
 E PRODUZIONE EDILIZIA
 IN416 TECNOLOGIE AERONAUTICHE
 IN417 TECNOLOGIE CHIMICHE INDUSTRIALI
 IN422 TECNOLOGIE ELETTROCHIMICHE
 IN423 TECNOLOGIE ELETTRONICHE
 IN424 TECNOLOGIE METALLURGICHE
 IN426 TECNOLOGIE NUCLEARI
 IN427 TECNOLOGIE SIDERURGICHE
 IN428 TECNOLOGIE SPECIALI DELL'AUTOVEICOLO
 IN569 TECNOLOGIE SPECIALI MINERARIE
 IN429 TECNOLOGIE TESSILI
 IN435 TEORIA DEI SEGNALI
- A. Tuberga
 P. Lepora
 G. Belforte
 N. Piccinini
 V. Carrescia
 L. Goffi
 G. Guarnieri
 C. E. Callari
 G. P. Bava
 M. Villa
 A. Russo Frattasi
 M. Lucco Borlera
 P. Rolando
 D. Firrao
 P. Contini
 F. Spirito - R. Ippolito
 R. Ippolito - R. Levi
 S. Rossetto
- L. Morra
 M. Clerico
 N. Piccinini
 P. Spinelli
 D.d.N.
 M. Lucco Borlera
 E. Lavagno
 M. Rosso
 G. F. Micheletti
 G. Badino
 F. Testore
 D.d.N.

IN436	TEORIA DEI SISTEMI	M. Milanese
IN440	TEORIA DELLE RETI ELETTRICHE	D.d.N.
IN594	TEORIA DELL'INFORMAZIONE (ex IN445 TEORIA STATISTICA DELL'INFORMAZIONE)	M. Elia
IN443	TEORIA E SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI	V. Specchia
IN442	TEORIA E PROGETTO DEI CIRCUITI LOGICI	L. Gilli
IN570	TEORIA E PRATICA DELLE MISURE	D.d.N.
IN571	TERMOCINETICA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI	M. Malandrone
IN573	TERMOIDRAULICA BIFASE DEGLI IMPIANTI NUCLEARI	E. Lavagno
IN448	TERMOTECNICA DEL REATTORE	B. Panella
IN449	TOPOGRAFIA	B. Astori
IN449	TOPOGRAFIA	S. Dequal
IN449	TOPOGRAFIA	C. Sena
IN450	TOPOGRAFIA	C. Sena
IN452	TRASMISSIONE DI DATI	S. Benedetto
IN453	TRASMISSIONE TELEFONICA	E. Biglieri
IN455	URBANISTICA	F. Mellano

INDICE ALFABETICO DEI DOCENTI

- ABBATTISTA F., 24.
 ABETE A., 361, 478.
 ACQUARONE G., 240.
 ALGOSTINO F., 123, 364, 439, 515,
 566.
 ANDRIANO M., 109, 498.
 ANGELINI E., 240, 326.
 ANGLÉSIO P., 407.
 ANTONA E., 61, 62, 67.
 ANTONELLI E., 420, 443.
 APPENDINO P., 114, 429.
 ARCIDIACONO A., 39.
 ARMANDO E., 483, 510.
 ARNEODO C. A., 556.
 ARRI E., 40, 403.
 ASCOLI R., 245.
 ASTORI B., 175, 210.
 BACCIOTTI A., 142.
 BADINO G., 520.
 BALDI G., 115, 118.
 BALDINI G., 518.
 BARBERO A., 410.
 BARBISIO E., 99, 403.
 BARDELLI P. G., 188.
 BARISONE G., 513.
 BARLA G., 193, 474, 501.
 BAUDUCCO G., 414.
 BAVA G. P., 298.
 BECCARI C., 290.
 BELFORTE G., 110, 359, 383, 422,
 499.
 BELFORTE G., 297.
 BELLOMO N., 56, 272, 421.
 BENEDETTO S., 308.
 BIANCO G., 153.
 BIEY D., 257.
 BIGLIERI E., 309.
 BOFFA C., 174.
 BOIERI P., 229, 319.
 BONA B., 233.
 BONGIOVANNI G., 391.
 BORASI V., 146.
 BORELLO L., 66.
 BOTTINO G., 497.
 BOSCO MASERA M., 171.
 BRAY A., 430.
 BRISI C., 25, 26, 81, 84, 470, 472,
 533, 535
 BROSSA G., 352.
 BUFFA E., 348, 491.
 BURDESE A., 124, 440.
 BUSSI G., 59.
 BUTERA L., 161, 412.
 BUZANO PESCARMONA C., 100,
 479, 546.
 CALDERALE P. M., 384, 397.
 CALI' M., 407.
 CALLARI C. E., 448, 569.
 CAMPANARO P., 354, 557.
 CANCELLI C., 408.
 CANTARELLA G., 318.
 CANUTO E., 249, 253.
 CAPOSIO G., 191.
 CARIDI A., 95, 338, 400.
 CARLUCCI D., 252, 333.
 CARPINTERI A., 289.
 CARRESCIA V., 369.
 CASTELLANI V., 247.
 CASTIGLIA C., 158.
 CATANIA A. E., 418, 419.
 CHIARAVIGLIO A., 415.
 CHIARLI N., 267.
 CHIESA S., 51.
 CHIOCCHIA G., 18.
 CHIRONE E., 37, 399.
 CIUFFI R., 532.
 CIVALLERI P. P., 331, 340.
 CIVITA M., 177, 492.
 CLERICI C., 493.
 CLERICO M., 70.
 COFFANO A., 269.
 COLASURDO G., 60, 68.
 COLOMBO B., 350.
 COLOSI G., 477.
 CONTI R., 105.
 CONTINI P., 208.
 COPPO S., 163.
 CORNO S.E., 549.
 CROTTI A., 169.
 CROVINI L., 431.
 CURTI G., 334, 540.
 DAGNINO C., 328.
 D'ALFIO N., 111.

- DANIELE V., 259.
 D'ANGELO S., 41.
 DE BENEDETTI B., 98.
 DEBERNARDI P. G., 202.
 DE FILIPPI A., 382.
 DEL CORSO D., 258.
 DEL GRECO O., 506, 514.
 DELLEPIANE N., 95, 338, 400.
 DEL TIN G., 537.
 DEMICHELIS F., 262, 561.
 DE PALMA C., 160.
 DEQUAL S., 156, 210.
 DE SALVE M., 541.
 DESIDERI E., 144, 195.
 DI MOLFETTA A., 496.
 DONATI F., 323.
 ELIA M., 304.
 FASOLI U., 121.
 FERRARIS F., 278.
 FERRARIS P., 355.
 FERRARO C. V., 433.
 FERRERO F., 90, 91.
 FERRO V., 102, 416, 482.
 FIAMENI M., 149.
 FILISETTI BORELLO O., 260.
 FIORIO G., 332, 539.
 FIRRAO D., 113, 451.
 FORNARO M., 473.
 FRISA MORANDINI A., 120, 507,
 508.
 GECCELE G., 494.
 GENON G., 119.
 GENTA G., 28, 425.
 GERMANO M., 44.
 GEYMONAT G., 378.
 GIANETTO A., 104.
 GIANI G. P., 481, 487.
 GIANOGLIO C., 358.
 GILLI L., 307.
 GIORDANA M., 256, 402.
 GIUFFRIDA E., 381.
 GOFFI L., 189, 203.
 GOLA M., 93.
 GONELLA L., 563, 568.
 GORINI I., 274.
 GOZZELINO G., 80, 116.
 GRASSI G., 240.
 GRECO S., 267.
 GREGORIO P., 45, 554.
 GRILLO PASQUARELLI C., 32, 33.
 GUARNIERI G., 204.
 GUERRA G., 38.
 GUGLIOTTA A., 27, 31.
 GUIDETTI M., 171.
 INNAURATO E., 143.
 INNAURATO N., 475.
 IPPOLITO R., 370, 452.
 JACAZIO G., 558.
 JAMIOLKOVSKI M., 180, 488.
 JARRE G., 47, 48.
 LAFACE P., 294.
 LAURENTINI A., 296, 365.
 LAUSETTI A., 19, 20.
 LAVAGNO E., 571, 573.
 LAZZARI M., 330.
 LEPORA P., 368.
 LEPORATI E., 65, 201.
 LESCA C., 176.
 LESCHIUTTA S., 273, 275, 277.
 LEVI R., 452.
 LOMBARDI C., 266.
 LUCCO BORLERA M., 128, 207, 519.
 MAGNANO G., 503.
 MAJA M., 87, 92, 390.
 MALANDRONE M., 572.
 MANCINI R., 517.
 MANZONI S., 543.
 MARCANTE LONGO E., 427.
 MARCHIS V., 271.
 MAROCCHI D., 155, 389.
 MARRO P., 199, 200.
 MASCARELLO RODINO M., 379.
 MASSAZA C., 50, 103, 486, 555..
 MATTEUCCI E., 465.
 MAURO V., 279, 362.
 MAZZA A., 184.
 MAZZETTI P., 264.
 MELLANO F., 212.
 MENGA G., 251.
 MEO A. R., 268.
 MERLETTI R., 295, 444.
 MEZZALAMA M., 280.
 MEZZETTI E., 262, 480.
 MICHELETTI G. F., 456.
 MILANESE M., 301.
 MINETTI B., 552.
 MIRALDI E., 42.
 MONEGATO G., 23, 150, 385, 531.
 MONTE A., 52, 106, 413.
 MONTORSI M., 386.
 MONTRUCCHIO L., 377.
 MORELLI A., 396, 435.

- MORELLI P., 29, 34.
MORONI P., 22, 79, 321, 469, 530.
MORRA L., 209.
MOSCA P., 351.
MUSSINO F., 256.
NALDI C., 246, 254.
NANO E., 242, 285.
NAPOLI R., 317.
NATALE P., 511.
NELVA R., 166.
NERVEGNA N., 53, 434.
NOCILLA S., 428.
NUCCIO P., 54.
OCCELLA E., 505.
OLDANO C., 263, 282, 548.
OMINI M., 260.
ONORATO M., 49.
OREFICE M., 231.
OREGLIA M., 164.
ORUSA L., 35, 162, 336.
OSSOLA F., 168, 170.
OSTANELLO A. M., 198, 288, 363, 437.
PALMERI G., 36, 94, 476, 542.
PALUMBO P., 197.
PANDOLFI L., 538.
PANDOLFI M., 16.
PANDOLFI M., 55, 319.
PANELLA B., 574.
PANIZZA E., 441.
PASQUALINI E., 181, 489.
PASQUARELLI A., 404, 565.
PATRUCCO M., 495, 516.
PELIZZA S., 468.
PENAZZI N., 151.
PENT M., 248.
PERONA G. E., 284.
PEROTTI G., 108, 417.
PESSINA G., 353.
PEZZOLI G., 182.
PICCININI N., 125, 126, 447.
PICCOLO E., 292, 445.
PIGLIONE L., 342.
PIOMBO B., 426.
PISANI U., 234, 275, 276.
POMÈ R., 349.
POZZOLO V., 257.
PRADELLI G., 388.
PRATIGAGLIA M. P., 83.
PRIOLA A., 89, 394.
QUAGLIA M., 139.
QUAGLIOTTI F., 423.
QUARATI P., 262.
QUORI F., 15.
RASETTI M., 560.
RAVETTO P., 564.
RICCI F., 379.
RICCI G., 192.
RIGANTI R., 112, 502, 559.
RIVOLO P. F., 442.
RIZZI G., 265, 551.
ROCCATI G., 392.
ROLANDO P., 207.
ROLANDO LESCHIUTTA M., 78.
ROMEO G., 63.
ROMITI A., 424.
ROSSETTO S., 453.
ROSSO M., 129, 455.
RUSCICA G., 186.
RUSSO G., 398.
RUSSO FRATTASI A., 206, 450.
SACCHI A., 140, 346, 380.
SANDRONE R., 504.
SANINI A., 179.
SARACCO G., B., 85, 88, 536.
SASSI PERINO A. M., 438.
SCARAFIOTTI ABETE A. R., 21, 77, 229, 466, 529.
SCARZELLA P., 148.
SCHIARA M., 185.
SENA C., 211, 521.
SERRA A., 237.
SICARDI S., 117, 122.
SOARDO P., 367.
SORDO S. T., 183.
SPECCHIA V., 107, 131.
SPINELLI P., 97, 127.
SPIRITO F., 69, 570.
STRIGAZZI A., 260, 343.
SURACE G., 30.
TARTAGLIA A., 43, 101, 345, 547.
TARTAGLIA M., 167.
TAVERNA VALABREGA P., 173.
TEPPATI G., 232, 245.
TESTORE F., 130, 454.
TOSONI M., 322.
TROSSI L., 406.
TUBERGA A., 446.
VACCA J., 272.
VACCA M. T., 194.
VADACCHINO M., 283.
VAGATI A., 236, 325.

VALABREGA P., 411.
VALLAURI M., 244, 329, 544.
VALLINI P., 154.
VALLINO M., 151.
VARVELLI R., 509.
VATTA F., 57.
VERGA G., 500.
VILLA A., 436.
VILLA M., 205, 449.

VILLATA F., 270, 357.
VITIS, 141.
ZANNETTI L., 46, 64, 409.
ZAVATTARO CHIADÒ-PIAT M. G.,
58, 272, 360.
ZICH R., 239.
ZIMAGLIA C., 335.
ZUCCHETTI S., 484, 490.

MODIFICHE APPORTATE DOPO LA STAMPA DEL VOLUME
ED ERRATA CORRIGE

- PAG. 211 : DOCENTE : CARMELO SENA
- PAG. 125/ 447 : IL CORSO IN566 E' : TECNICA DELLA SICUREZZA
AMBIENTALE
- PAG.380 : IL CORSO IN 495 E' AL IV ANNO
- PAG.381 : IL CORSO INO23 E' TENUTO DAL PROF. MARIO LAZZARI
- PAG.390 : IL CORSO IN 090 E' AL IV ANNO
- PAG.416 : IL CORSO IN 521 E' PREVISTO ANCHE PER L'INDIRIZZO
IMPIANTISTICO /MECCANICI /
- PAG.420 : IL CORSO IN 251 E' AL IV ANNO PER GLI INDIRIZZI:
AUTOMOBILISTICO/TURBOMACCHINE/IMPIANTISTICO E
PER I SOTTOINDIRIZZI TECNOLOGICO C5 E FERROVIARIO
02 (MECCANICI)
- PAG.431 : IL CORSO IN 303 E' TENUTO DA PROF. A.M. BARBERO
E NON E' PREVISTO PER L'INDIRIZZO DI BIOINGEGNERIA
(MECCANICI)
- PAG.437 : IL CORSO IN 355 E' AL III ANNO
- PAG.443 : IL CORSO IN 561 E' TENUTO DAL PROF. CARLO V. FERRARO
- PAG.451 : IL CORSO IN 411 E' AL III ANNO/ 2° PERIODO DIDATTICO
ED E' TENUTO DAL PROF. A.BURDESE
- PAG.454 : IL CORSO IN 429 E' AL IV ANNO
- IL CORSO - SISTEMI DI TRASPORTO (PROF. A. CROTTI) - IN 588 / V ANNO
2° PERIODO DIDATTICO / E' RIPORTATO TRA I PROGRAMMI DI INGEGNERIA
CIVILE
- IL PROGRAMMA DEL CORSO DI DISEGNO DI INGEGNERIA ELETTRONICA -IN467 -
E' IDENTICO AL DISEGNO IN 468 PER ELETTRTECNICI, RIPORTATO A PAG. 337
- IL CORSO IN 394/ ELETTRTECNICI SI TIENE AL 2° PERIODO DIDATTICO