

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE

La laurea in Ingegneria Nucleare è un corso di studio che prepara l'ingegnere a progettare, costruire e gestire impianti nucleari. Il corso è articolato in quattro anni di studio, con un totale di 240 crediti formativi universitari (CFU). Il primo anno è dedicato alle materie fondamentali dell'ingegneria, mentre gli anni successivi sono dedicati alle materie specifiche dell'ingegneria nucleare, con un focus particolare sulla fisica nucleare e sulla tecnologia dei reattori.

Dalla fine degli anni '50, l'ingegneria nucleare ha visto un rapido sviluppo, grazie alla scoperta dell'energia nucleare. In Italia, la prima centrale nucleare è stata costruita a Casello d'Isola nel 1964. Da allora, il paese ha investito significativamente in questa tecnologia, con l'obiettivo di diventare un paese leader in Europa. L'ingegneria nucleare è un campo multidisciplinare che coinvolge la fisica, la chimica, l'elettronica e l'ingegneria meccanica.

Esiste inoltre, per chi desidera una seconda laurea in Ingegneria Nucleare, quella che si proviene dall'estero, consentendo di ottenere una doppia laurea. Questo tipo di laurea è particolarmente apprezzata da chi desidera approfondire i propri studi in questo campo. La laurea in Ingegneria Nucleare è un corso di studio che prepara l'ingegnere a progettare, costruire e gestire impianti nucleari. Il corso è articolato in quattro anni di studio, con un totale di 240 crediti formativi universitari (CFU).

Il corso è articolato in quattro anni di studio, con un totale di 240 crediti formativi universitari (CFU). Il primo anno è dedicato alle materie fondamentali dell'ingegneria, mentre gli anni successivi sono dedicati alle materie specifiche dell'ingegneria nucleare, con un focus particolare sulla fisica nucleare e sulla tecnologia dei reattori. La laurea in Ingegneria Nucleare è un corso di studio che prepara l'ingegnere a progettare, costruire e gestire impianti nucleari. Il corso è articolato in quattro anni di studio, con un totale di 240 crediti formativi universitari (CFU).

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 rivelarsi 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 e 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 di questi tipi di impianti 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. E' 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 termotecnico.** L'indirizzo termotecnico 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 meccanico.** E' 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. E' 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 della neutronica 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.** E' 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.

E' 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.

PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DI CORSO DI LAUREA
Silvio Edoardo CORNO
 Dip. di Energetica

COMMISSIONE PER L'ESAME DEI PIANI DI STUDIO INDIVIDUALI
E

COMMISSIONE PER LE PROVE DI SINTESI

<u>Carlo ARNEODO</u>	Dip. di Energetica
Paolo CAMPANARO	Dip. di Energetica
Graziano CURTI	Dip. di Meccanica
Francesca DE MICHELIS	Dip. di Fisica
Luigi GONELLA	Dip. di Fisica

**PIANO UFFICIALE DEGLI STUDI
DEL CORSO DI LAUREA IN
INGEGNERIA NUCLEARE**

<i>Anno</i>	<i>1° periodo didattico</i>	<i>2° periodo didattico</i>
I	IN459 Analisi matematica I IN465 Chimica IN469 Disegno (1/2 corso)	IN477 Geometria I IN473 Fisica I IN469 Disegno (1/2 corso)
II	IN460 Analisi matematica II IN485 Fisica II IN481 Disegno meccanico (*)	IN487 Meccanica razionale IN073 Complementi di matematica (**) IN047 Chimica applicata (***)
III	IN360 Scienza delle costruzioni IN174 Fisica tecnica IN049 Chimica degli impianti nucleari	IN270 Meccanica delle macchine IN167 Fisica atomica IN483 Elettrotecnica
IV	IN173 Fisica nucleare IN171 Fisica del reattore nucleare X	IN248 Macchine IN226 Impianti nucleari Y
V	IN145 Elettronica nucleare U V	IN093 Costruzione di macchine W Z

(*) *Insegnamento anticipato del triennio.*

(**) *Insegnamento sostitutivo di Geometria II.*

(***) *Insegnamento appartenente al triennio di cui si consiglia l'anticipo.*

I corsi X, Y, U, V, W, Z sono corsi annuali.

Alle 23 materie sopra indicate vanno associate altre 6 materie di indirizzo.

I 5 indirizzi che la Facoltà realizzerà nell'A.A. 1983/84 sono riportati qui di seguito, con gli elenchi delle materie che li costituiscono. La lettera maiuscola che precede contraddistingue l'insegnamento stesso nel piano di studio, mentre i due numeri segnalano rispettivamente il periodo didattico e l'anno di appartenenza del corso.

Indirizzo TERMOTECNICO

X	1°	IV	IN571	Termocinetica degli impianti nucleari
Y	2°	IV	IN573	Termoidraulica bifase degli impianti nucleari
U	1°	V	IN448	Termocinetica del reattore
V	1°	V	IN426	Tecnologie nucleari
W	2°	V	IN114	Dinamica e controllo degli impianti nucleari
Z	2°	V	IN070	Complementi di impianti nucleari

Indirizzo MECCANICO

X	1°	IV	IN571	Termocinetica degli impianti nucleari
Y	2°	IV	IN413	Tecnologia meccanica
U	1°	V	IN402	Tecnica delle costruzioni industriali
V	1°	V	IN426	Tecnologie nucleari
W	2°	V	IN042	Calcolo strutturale di componenti nucleari
Z	2°	V	IN070	Complementi di impianti nucleari

Indirizzo NEUTRONICO

X	1°	IV	IN571	Termocinetica degli impianti nucleari
Y	2°	IV	IN041	Calcolo numerico e programmazione
U	1°	V	IN349	Reattori nucleari
V	1°	V	IN426	Tecnologie nucleari
W	2°	V	IN114	Dinamica e controllo degli impianti nucleari
Z	2°	V	IN301	Misure nucleari

Indirizzo DINAMICA E CONTROLLO

X	1°	IV	IN082	Controlli automatici
Y	2°	IV	IN041	Calcolo numerico e programmazione
U	1°	V	IN349	Reattori nucleari
V	1°	V	IN550	Protezione e sicurezza negli impianti nucleari
W	2°	V	IN114	Dinamica e controllo degli impianti nucleari
Z	2°	V	IN070	Complementi di impianti nucleari

Indirizzo FISICO

X	1°	IV	IN172	Fisica matematica
Y	2°	IV	IN380	Strumentazione fisica
U	1°	V	IN349	Reattori nucleari
V	1°	V	IN281	Meccanica statistica applicata
W	2°	V	IN559	Sorgenti di radiazioni e macchine acceleratrici
Z	2°	V	IN301	Misure nucleari

Le materie di indirizzo dovranno essere frequentate nei vari anni di regola a partire dal 3°, in modo da prevedere, per ogni periodo didattico, non più di 4 e non meno di 2 materie in totale. Inoltre, nello stabilire una successione temporale delle frequenze eventualmente diversa da quella indicata, si dovrà tener conto anche dei vincoli di propedeuticità, nonché delle compatibilità di orario.

Tutti gli studenti che abbiano già frequentato le seguenti materie nel loro piano di studi

IN344	Protezione e sicurezza negli impianti nucleari (sem.)
IN135	Elementi di programmazione (sem.)
IN136	Elementi di statistica (sem.)
IN252	Macchine acceleratrici (sem.)

corsi divenuti nel 1982/83 annuali, hanno il diritto di sostenere l'esame del corso frequentato nella dimensione di corso semestrale.

CRITERI DI APPROVAZIONE DEI PIANI DI STUDIO INDIVIDUALI DEL CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE

Saranno approvati, previa verifica di organicità e coerenza da parte della commissione, i piani di studio comprendenti complessivamente 29 materie, tra le quali figurino:

a) le seguenti 15 materie:

- 1° **IN459** Analisi matematica I
- 2° **IN477** Geometria I
- 2° **IN473** Fisica I
- 1° **IN465** Chimica
- 1-2° **IN469** Disegno
- 1° **IN460** Analisi matematica II
- 2° **IN487** Meccanica razionale
- 1° **IN485** Fisica II
- 1° **IN360** Scienza delle costruzioni
- 2° **IN270** Meccanica delle macchine
- 1° **IN174** Fisica tecnica
- 2° **IN483** Elettrotecnica
- 2° **IN073** Complementi di matematica
- 1° **IN171** Fisica del reattore nucleare
- 2° **IN226** Impianti nucleari

b) almeno 6 delle seguenti materie:

- 1° **IN049** Chimica degli impianti nucleari
- 2° **IN047** Chimica applicata
- 2° **IN093** Costruzione di macchine
- 1° **IN481** Disegno meccanico
- 1° **IN145** Elettronica nucleare
- 2° **IN167** Fisica atomica
- 1° **IN173** Fisica nucleare
- 2° **IN248** Macchine

c) 6 materie da scegliersi tra le rimanenti eventuali del gruppo b) o nell'elenco che segue, purché almeno quattro di esse siano tratte da un unico indirizzo del piano ufficiale degli studi:

- 2° **IN041** Calcolo numerico e programmazione
- 2° **IN042** Calcolo strutturale di componenti nucleari
- 2° **IN070** Complementi di impianti nucleari
- 1° **IN082** Controlli automatici
- 2° **IN114** Dinamica e controllo degli impianti nucleari
- 1° **IN172** Fisica matematica
- 1° **IN170** Fisica dello stato solido
- 1° **IN168** Fisica dei fluidi e magnetofluidodinamica
- 2° **IN259** Materiali per l'elettrotecnica
- 1° **IN281** Meccanica statistica applicata
- 2° **IN284** Metallurgia fisica

- 2° **IN301** Misure nucleari
- 1° **IN550** Protezione e sicurezza negli impianti nucleari
- 1° **IN349** Reattori nucleari
- 2° **IN559** Sorgenti di radiazioni e macchine acceleratrici
- 2° **IN380** Strumentazione fisica
- 1° **IN565** Tecnica della programmazione
- 1° **IN402** Tecnica delle costruzioni industriali
- 1° **IN411** Tecnologia dei materiali metallici
- 2° **IN413** Tecnologia meccanica
- 1° **IN426** Tecnologie nucleari
- 1° **IN571** Termocinetica degli impianti nucleari
- 2° **IN573** Termoidraulica bifase degli impianti nucleari
- 1° **IN448** Termocinetica del reattore

d) due altre materie da scegliere ancora fra le indicate nel gruppo b) o c) o, eventualmente, fra quelle di altri corsi di laurea.

PROGRAMMI

Seguono in ordine alfabetico, i programmi degli insegnamenti ufficiali del Triennio 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 per 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.

IN041 CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE

Prof. Giovanni MONEGATO

DIP. di Matematica

IV ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Neutronico -

Dinamica e controllo

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

Annuale (ore)

80

50

—

Settimanale (ore)

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 sul metodo 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

Dispense del docente.

Ralston, Rabinowitz - A first course in numerical analysis - McGraw-Hill, Tokyo, 1978.

Abete Scarafioti, Palamara Orsi - Programmare in Fortran - Levrotto & Bella, Torino, 1979.

IN042 CALCOLO STRUTTURALE DI COMPONENTI NUCLEARI

Prof. Renzo CIUFFI

DIP. di Meccanica

V ANNO

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

2° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore)

52

32

—

INDIRIZZO: Matematico

Settimanale (ore)

4

2

—

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 rigidezza 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; cenni di meccanica della frattura; elementi finiti, elementi monodimensionali: travi, piastre, gusci; elementi bidimensionali: triangolari, quadrangolari, elementi isoparametrici a 4 e 8 nodi, elementi assialsimmetrici isoparametrici, elemento piastra; problemi dinamici; frequenze 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.

IN047 CHIMICA APPLICATA

Prof. Cesare BRISI

DIP. di Scienza dei Materiali e Ingegneria
ChimicaII ANNO (*)
2° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	80	30	15
Settimanale (ore)	6	3	

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

Caratteristiche e trattamenti delle acque per uso industriale. Acque potabili. Generalità sui combustibili e calcoli sulla combustione. Caratteristiche e metodi di elaborazione dei principali combustibili solidi, liquidi e gassosi. Lubrificanti. Regola delle fasi e teoria dei diagrammi di stato. Materiali ceramici e refrattari. Cementanti aerei ed idraulici. Vetro. Vetro-ceramiche. Materiali ferrosi. Elaborazione della ghisa e dell'acciaio. Ghise da getto. Cenni sui trattamenti termici e di indurimento superficiale degli acciai. Classificazione UNI. Metallurgia dell'alluminio. Cenni sulle principali leghe. Caratteristiche fisico-meccaniche e principali leghe del rame. Polimeri e polimerizzazione. Principali tipi di resine termoplastiche e termoindurenti.

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.

(*) *Insegnamento del triennio anticipato al biennio.*

IN049 CHIMICA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI

Prof. Giovanni Battista SARACCO

DIP. di Scienza dei Materiali e Ingegneria
Chimica

III ANNO

Impegno didattico Lez. Es. Lab.

1° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore) 70 14 20

Settimanale (ore) 5 1 4

Il corso intende illustrare i più importanti concetti della termodinamica chimica e della chimica industriale che formano la base per la definizione dei processi che concorrono allo sviluppo delle tecnologia nucleari. Tratta pertanto temi di impiantistica chimica, dei processi di produzione dei principali materiali di interesse nucleare, dei sistemi di riprocessamento dei combustibili esauriti e di innocuizzazione dei prodotti di fissione.

Il corso, oltre alle lezioni in aula, prevede esercitazioni di calcolo e laboratorio. Sono propedeutiche le nozioni di Chimica Generale.

PROGRAMMA

Principi di separazione basata sulla formazione dei complessi.

Scambiatori di ioni, estrazioni con solventi, distillazione, cristallizzazione frazionata.

Calcolo del numero di stadi nei processi di separazione.

Apparecchiatura di separazione per sistemi monofasici e polifasici.

Processi di produzione dei combustibili nucleari (uranio, plutonio, torio), moderatori e riflettori; materiali refrigeranti; materiali di controllo; materiali per schermatura; materiali di rivestimento; materiali per strutture.

Danneggiamento da radiazione su solidi, liquidi e aeriformi.

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

Smaltimento dei residui radioattivi.

Produzione del deuterio: acqua pesante per distillazione, per elettrolisi, per scambio isotopico.

Distillazione dell'idrogeno, cicli misti, procedimenti a 1 e 2 temperature.

Separazione di isotopi pesanti: processi di diffusione, supercentrifugazione, diffusione di massa, ecc.

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni svolgono calcoli numerici su distillazione, cristallizzazione, relazioni stechiometriche, scambi di materia.

LABORATORI

In laboratorio vengono eseguite esperienze di estrazioni con solventi e separazioni per precipitazione con dosamenti strumentali.

TESTI CONSIGLIATI

Dispense del corso edite dalla CLUT.

IN070 COMPLEMENTI DI IMPIANTI NUCLEARI

Prof. Giovanni DEL TIN

DIP. di Energetica

V ANNO

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

2° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore)

75

25

—

INDIRIZZO: Termotecnico -

Settimanale (ore)

6

2

—

Meccanico -

Dinamica e Controllo

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 transitori e analisi di sicurezza. Transitori di reattività. Transitori di perdita di carico elettrico. Transitori di perdita di portata. Transitori conseguenti alla riduzione della capacità di asportazione del calore dal circuito primario (Lochs). Transitori 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 costi. 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. I e II - 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.

IN082 CONTROLLI AUTOMATICI

Prof. Giovanni FIORIO

DIP. di Automatica e Informatica

IV ANNO

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

1° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore)

72

40

—

INDIRIZZO: Dinamica e Controllo

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 antitrasformazione. Cenni su processi stocastici e dinamica statistica. Variabili di stato non fisiche. Analisi frequenziale. 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 e 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

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

2° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore)

80

60

—

Settimanel (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. I e II - Ed. Pátron, Bologna.

IN114 DINAMICA E CONTROLLO DEGLI IMPIANTI NUCLEARI

Prof. Mario DE SALVE

DIP. di Energetica

V ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Neutronico -

Termotecnico -

Dinamica e controllo

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

84

6

Es.

20

2

Lab.

-

-

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 nucleotermoelettriche; 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 I - 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 nucleotermoelettriche. Cenni sui problemi connessi alla gestione di una rete elettrica.

Parte II - 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 III - 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; coefficiente 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 IV - Strumentazione nucleare in core ed ex core. Misure di flussi neutronici, periodo, efficacia delle barre di controllo. Misure termiche e fluidodinamiche.

Parte V - 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 -

IN481 DISEGNO MECCANICO

Prof. Silvio MANZONI

IST. di Tecnologia Meccanica

II ANNO (*)

1° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	60	120	—
Settimanale (ore)	4	8	—

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 di tenuta e tenute a labirinto.

Dispositivi antisvitamento; rosette e 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 rochetto-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 - Levrotto & Bella, Torino, 1979.

(*) *Insegnamento del triennio anticipato al biennio.*

IN145 ELETTRONICA NUCLEARE

Prof. Maurizio VALLAURI

DIP. di Elettronica

V ANNO

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

1° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore)

70

20

—

Settimanale (ore)

6

2

—

Il corso è organizzato come insegnamento di Elettronica applicata per non elettro-nici; 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 interes-sano 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: algebra 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

S.D. Senturia, B.D. Wedlock - Electronic Circuits and Applications - J. Wiley & Sons, New York, 1975.

R.J. Smith - Circuits, Devices and Systems 3rd - J. Wiley & Sons, New York, 1976.

H. Taub, D. Schilling - Digital Integrated Electronics - McGraw Hill, Kogakusha Ltd, Tokio, 1977.

IN483 ELETTROTECNICA

Docente da nominare

DIP. di Energetica

III ANNO

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

2° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore)

80

30

—

Settimanale (ore)

6

2

—

Il corso di Elettrotecnica ha lo scopo di studiare le applicazioni dell'Elettromagnetismo soprattutto per quanto riguarda la produzione, la distribuzione e l'utilizzazione dell'energia elettrica che, come è noto, è la più versatile di tutte le forme di energia presenti in natura. Fra i moltissimi temi oggetto dell'Elettrotecnica, in particolare sarà privilegiato lo studio delle Macchine elettriche. Esse infatti, oltre a costituire i dispositivi più importanti da un punto di vista pratico, consentono didatticamente le applicazioni immediate delle metodologie generali, campistiche e circuitali, sviluppate nel corso per lo studio di tutti i sistemi elettromagnetici.

Il corso si svolgerà in lezioni ed esercitazioni. L'esame consiste in un colloquio orale in cui si accerta innanzitutto l'abilità a risolvere problemi.

Nozioni propedeutiche: Analisi matematica I e II, Geometria I, Fisica I e II, Meccanica razionale, Complementi di matematica.

PROGRAMMA

Equazioni di Maxwell e considerazioni energetiche. Campi elettromagnetici a bassa frequenza. Bipoli ed equazioni di funzionamento. Reti elettriche: teoremi fondamentali. Equazioni di stato e loro risoluzione. Reti resistive e teoremi fondamentali. Metodi topologici per lo studio delle reti. Corrente alternata. Calcolo simbolico e teoremi relativi. Utilizzazione corrente alternata ed applicazioni. Bipoli reali. Presenza di nuclei magnetici. Circuiti e reti magnetiche. Equazioni degli avvolgimenti. Trasformatore ideale. Trasformatore reale. Circuiti equivalenti e diagrammi fasoriali. Accorgimenti costruttivi. Sollecitazioni. Sistemi trifase. Vantaggi e calcolo. Trasformatori trifasi e dati di targa. Collegamento in parallelo. Principi di conversione elettromeccanica. Campi magnetici ruotanti ed interazioni con avvolgimenti statorici o rotorici. Macchina asincrona. Funzionamento e circuito equivalente. Caratteristiche meccaniche ed elettromeccaniche. Vari tipi di rotore. Diagramma circolare e funzionamento come generatore. Motore ad induzione monofase. Macchina sincrona. Funzionamento e circuito equivalente. Funzionamento come motore. Collegamento a rete di potenza infinita e funzionamento come generatore. Macchina a corrente continua. Funzionamento come motore e generatore. Caratteristiche di funzionamento nei diversi tipi di eccitazione.

ESERCITAZIONI

Lo scopo essenziale dell'esercitazione è l'addestramento degli allievi alle metodologie insegnate nel corso. In particolare si tenderà a fare acquisire la mentalità circuittale utile per lo studio di tutti i sistemi.

TESTI CONSIGLIATI

Fiorio, Gorini, Meo - Appunti di Elettrotecnica - Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1975.
 Laurentini, Meo, Pomè - Esercizi di Elettrotecnica - Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1975.
 Civalieri - Elettrotecnica - Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1981.
 Desoer, Kuh - Fondamenti di teoria dei circuiti - Ed. Franco Angeli, Milano, 1981.
 Fitzgerald, Kingsley, Kusko - Macchine elettriche - Ed. Franco Angeli, Milano, 1981.

IN167 FISICA ATOMICA

Prof. Claudio OLDANO

DIP. di Fisica

III ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	80	30	10
Settimanale (ore)	6	3	—

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

Il corso comprende lezioni, esercitazioni, laboratori.

Nozioni propedeutiche: Complementi di matematica.

PROGRAMMA

Complementi di elettromagnetismo. Potenziali scalari e vettore. Pacchetti d'onda. Effetto fotoelettrico. Energia e quantità di moto di un fotone. Effetto Compton. 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. Esperienza di Einstein. De Haas. Spin dell'elettrone. Matrici di Pauli. Atomo di idrogeno. Teoria delle perturbazioni statiche. Effetto Zeeman. Seconda quantizzazione: operatori di creazione e distruzione. Quantizzazione del campo elettromagnetico. Emissione spontanea e indotta. Cenno al laser. Atomi con più elettroni. Principio di esclusione. Legame covalente: studio della molecola di idrogeno. Sezione d'urto di Scattering. Formula di Rutherford.

ESERCITAZIONI

Teoria della relatività ristretta. Implicazioni delle leggi della fisica classica e loro limiti: difficoltà sperimentali e incongruenze teoriche che hanno portato alla relatività. Cinematica relativistica: il gruppo di Lorentz e le sue conseguenze (somma delle velocità, contrazione delle lunghezze, dilatazione dei tempi, effetto doppler, aberrazione). Dinamica relativistica: definizione di quantità di moto ed energia. Equivalenza massa-energia. Quadrivettore energia-impulso-forza e accelerazione. Cenno all'elettrodinamica: il quadrivettore densità di carica e di corrente.

LABORATORI

Effetto fotoelettrico, emissione di elettroni per effetto tunnel, interferometro di Michelson.

TESTI CONSIGLIATI

- R. Malvano, D. Barbero - Introduzione alla Fisica atomica e molecolare - Casa Editrice Ambrosiana, 1975.
- R. Resnick - Introduzione alla relatività ristretta - Casa Editrice Ambrosiana, 1969.
- P. Caldirola, R. Cirelli, G.M. Prosperi - Introduzione alla Fisica teorica - UTET, 1982.
- C. Rossetti - Fisica teorica - Ed. Levrotto & Bella, 1981.
- A. Messiah - Quantum Mechanics - North Holland P.C.

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 nel 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. Cenno 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, "utilizzazione 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 equazioni 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 dei Reattori Nucleari - Università di Pisa, 1983.
- I.R. Lamarrsh - 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

IV ANNO

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

1° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore)

100

—

—

INDIRIZZO: Fisico

Settimanale (ore)

8

—

—

Argomento principale del corso è un'introduzione alla relatività speciale; argomento secondario, in ambito seminariale, un'introduzione alla meccanica statistica. 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: Formulazione variazionale delle equazioni fondamentali dell'elettrodinamica relativistica, o eventualmente delle leggi fisiche in generale (se richiesto).

Seminario 2: introduzione alla meccanica statistica. Teoremi fondamentali nello spazio delle fasi. Ergodicità. Irreversibilità e approccio all'equilibrio. Equazione di Boltzmann. Teorema H. Processi markoffiani. Master equation. Equazione di Fokker-Planck.

Nota. Il programma d'esame potrà essere concordato col docente nell'ambito del programma complessivo delle lezioni e dei seminari.

ESERCITAZIONI

Gli argomenti delle esercitazioni sono inserite nel corso delle lezioni.

TESTI CONSIGLIATI

C. Rizzi - Appunti dal corso - Vol. I - Meccanica relativistica, CLUT - Vol. II - Elettrodinamica relativistica nel vuoto, CLUT.

G. Rizzi, R. Monaco - Introduzione alla Meccanica statistica (in stampa) .

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

Ter Haar - Foundations of statistical mechanics - Rew of Modern Phys - 27, 3 (1955).

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; interazioni 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.

Tecniche e simulazione e metodi di Monte Carlo.

B) Elementi di struttura 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 nucleari: 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 -.

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 (tridimensionali 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. II - Ed. Levrotto & Bella, Torino

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 HTGR.

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 disurezza (Mark III).

Sicurezza degli 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 -

IN248 MACCHINE

Prof. Paolo CAMPANARO

DIP. di Energetica

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 dall'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, rendimenti. 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. Macchine idrauliche motrici e operatrici; turbine Pelton, Francis, Kaplan e loro regolazione. Le turbopompe, loro regolazione. Pompe volumetriche. La cavitazione nelle turbomacchine idrauliche. 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 riguardo ad applicazioni aventi riferimenti ai corsi di laurea degli allievi.

TESTI CONSIGLIATI

Appunti delle lezioni sono messi a disposizione degli allievi.

A.E. Catania - Complementi di esercizi di macchine - Levrotto & Bella, 1979.

A. Beccari - Macchine - Vol. 1 - CLUT, 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 (aderenza 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, tecniche per l'analisi dei sistemi, sistemi lineari a parametri concentrati, sistemi lineari a parametri distribuiti, servo-meccanismi, 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.

IN281 MECCANICA STATISTICA APPLICATA

Prof. Mario RASETTI

DIP. di Fisica

V ANNO

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

1° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore)

78

26

—

INDIRIZZO: Fisico

Settimanale (ore)

6

2

—

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 solidi (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-Divac; 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

Spolvono 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

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

2° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore)

72

—

—

INDIRIZZO: Neutronico - Fisico

Settimanale (ore)

6

—

—

Il corso si propone di fornire agli allievi una rassegna sulla metodologia impiegata in misure di grandezze fisiche nucleari di 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 β . 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 ed 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 Stern 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 magnetici. Quadrupoli magnetici.

Traiettorie di particelle cariche in un quadrupolo magnetico.

Ottica dei fasci. Studio dell'ottica mediante matrici.

Applicazioni delle matrici all'ottica dei fasci.

TESTI CONSIGLIATI

- B.F. Turchin - Slow Neutron -.
- Gurevich - Low energy neutron Physics -.
- Marton - Method of Experimental Physics -.
- Steffen - High energy beam optics -.
- Siegbahn - a, B, γ , Ray Spectroscopy -.

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.

28

2

Lab.

—

—

Il corso si propone di fornire le nozioni di radioprotezione e analisi di sicurezza necessarie per valutare le dosi che derivano da impianti nucleari, misurare i livelli di dose, prevedere gli effetti e i rischi connessi con la radiazione in caso di funzionamento normale e in caso di incidente.

Il corso comprende lezioni ed esercitazioni.

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

PROGRAMMA

- 1) Rilascio di energia derivante dall'interazione della radiazione con la materia. Definizione grandezze dosimetriche. Relazione fluensa-dose per le diverse radiazioni.
- 2) Cenni di radiobiologia. Relazioni tra dose ed effetti. Equivalente di dose e fattore qualità. Irradiazione dell'organismo: esterna e interna. Modelli relativi a contaminazione interna. Il sistema di limitazione delle dosi. Esposizione di una popolazione. Concentrazioni massime ammesse.
- 3) Sorgenti naturali e radiazione di fondo. Il reattore a fissione: sorgenti a reattore funzionante e a reattore spento. Cenno a altri impianti: reattori di ricerca, impianti di medicina nucleare, acceleratori.
- 4) Il problema della previsione delle dosi: metodi di calcolo basati su diverse approssimazioni. Analisi della validità dei fattori di accumulo per gamma in schermi complessi. Penetrazione di neutroni per forti spessori. Trasporto della radiazione nelle irregolarità con particolare attenzione ai vuoti.
- 5) Metodi di misura delle radiazioni di interesse dosimetrico. Sistemi di misura con rivelatori a ionizzazione. Principio di Bragg-Gray. Metodi per neutroni termici, intermedi e veloci. Uso della spettrometria gamma per misure di contaminazione.
- 6) Impostazione delle analisi di sicurezza. Valutazione del rischio di generatori di potenza nucleari e confronto con altri tipi di generatori. Trasporto di prodotti di fissione nell'atmosfera e idrosfera. Problemi di sicurezza per il trasporto di materiale radioattivo. Problemi di criticità.

TESTI CONSIGLIATI

R.G. Jaeger - Engineering compendium on reactor shielding - Springer Verlag, 1968.

J.J. Fitzgerald - Applied radiation protection and control. Gordon and breach - 1969.

IN349 REATTORI NUCLEARI

Prof. Piero RAVETTO

DIP. di Energetica

V ANNO

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

1° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore)

80

30

—

INDIRIZZO: Neutronico -

Settimanale (ore)

6

2

—

Dinamica e Controllo -

Fisico

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 calcolatore. 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 dei neutroni. Diverse forme della equazione di Boltzmann linearizzata 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.

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. I e II, Levrotto & Bella, Torino, 1978.
 A. Sassi, P. Bocca, G. Faraggiana - Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni - Levrotto & Bella, Torino, 1977.

IN550 SORGENTI DI RADIAZIONE E MACCHINE ACCELERATRICI

Prof. Diego BARBERO

DIP. di Fisica

V ANNO

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

2° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore)

60

10

—

INDIRIZZO: Fisico

Settimanale (ore)

6

—

—

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 schermatura, 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 della macchina; iniezione e cenni alla teoria della cattura. Sincrotrone: stabilità di fase; sincrotrone per elettroni: dimensionamento delle componenti; modalità di iniezione ed estrazione; cenni al protosincrotrone. Radiazione di sincrotrone: 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 sincrotrone 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

Impegno didattico

Lez.

Es.

Lab.

2° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore)

90

—

—

INDIRIZZO: Fisico

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 trasformata di Fourier; Strumentazione basata sulla deformazione dell'immagine per lo studio ottico 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. Gian Mario BO

DIP. di Ingegneria Strutturale

V ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Meccanico

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 fornite i criteri per la progettazione e verifica degli elementi strutturali nelle diverse condizioni di carico. Vengono illustrate in modo particolareggiato le normative vigenti nel settore delle costruzioni. Argomento delle esercitazioni è la concreta progettazione con specifico riguardo alle strutture industriali.

Il corso si svolgerà con lezioni ed esercitazioni in aula.

Nozioni propedeutiche: Scienza delle Costruzioni.

PROGRAMMA

Premesse: i criteri generali di progettazione e proporzionamento del complesso strutturale; i carichi agenti sulle costruzioni; fenomeni di fluage e di rilassamento. Prove dinamiche e a fatica; caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e delle rocce; tipologia delle costruzioni.

Proporzionamento degli elementi resistenti nelle strutture in acciaio: gli acciai normali da costruzione; le norme vigenti per la costruzione di strutture metalliche; instabilità delle travi semplici e composte; la torsione nelle travi metalliche; giunzioni chiodate e bullonate: criteri di proporzionamento; le strutture saldate. Cenni sulle saldature: proporzionamento e verifica di calcolo.

Progettazione degli elementi resistenti in c.a.: caratteristiche fisico-meccaniche del calcestruzzo e influenza sul regime degli sforzi e delle deformazioni nelle strutture in c.a.. L'aderenza, il rapporto n ; cemento armato ordinario; criteri di progetto e verifica delle sezioni, elastico e agli stati limite per diverse caratteristiche di sollecitazione; le coazioni conseguenti al ritiro del cls, fluage, variazioni termiche; norme italiane per il progetto e l'esecuzione delle opere in cemento armato; il cemento armato precompresso. Concetti generali sulla precompressione.

Cenni sulle costruzioni in legno.

ESERCITAZIONI

Sviluppo di un progetto di struttura con destinazione d'uso industriale in acciaio e di un progetto strutturale in cemento armato.

TESTI CONSIGLIATI

G. Oberti - Corso di Tecnica delle Costruzioni - Levrotto & Bella, Torino.

Zignoli - Costruzioni metalliche - UTET, Torino.

Santarella - Prontuario del c.a. - Hoepli.

IN413 TECNOLOGIA MECCANICA

Prof. Rosolino IPPOLITO

IST. di Tecnologia Meccanica

IV ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Meccanico

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	48	30	—
Settimanale (ore)	—	—	—

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 fondamenti 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 sulle lamiere.

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

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 - Levrotto & Bella, Torino, 1974.

R. Ottone - Macchine utensili a comando numerico - Etas Kompass.

IN426 TECNOLOGIE NUCLEARI

Prof. Cesare MERLINI

DIP. di Energetica

V ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Termotecnico -

Meccanico -

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 di 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 - UTET.

AA.VV. - Il ciclo del combustibile - CNEN.

IN572 TERMOCINETICA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI

Prof. Mario MALANDRONE

DIP. di Energetica

IV ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Termotecnico -

Meccanico -

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 un 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.

Knudsen, Katz - Fluid Dynamics and Heat Transfer - McGraw Hill.

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

Carlsaw, 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: Termotecnico

Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
Annuale (ore)	78	26	6
Settimanale (ore)	6	2	

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 ultracrisi.

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 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: Termotecnico

Impegno didattico

Annuale (ore)

Settimanale (ore)

Lez.

80

6

Es.

28

2

Lab.

4

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. E' 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 noto 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 bollente 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

<i>Codice</i>	<i>Insegnamento</i>	<i>Docente</i>	<i>Pagina</i>
IN001	ACQUEDOTTI E FOGNATURE	M. QUAGLIA	147
IN495	ACUSTICA APPLICATA	A. SACCHI	148
IN003	AERODINAMICA	F. QUORI	23-349
IN004	AERODINAMICA II	da nominare	24
IN005	AERODINAMICA SPERIMENTALE	C. MORTARINO	25
IN574	AEROELASTICITA'	G. CHIOCCHIA	26
IN006	AERONAUTICA GENERALE	A. LAUSETTI	27
IN008	ANALISI DEI MINERALI	E. MATTEUCCI	427
IN496	ANALISI DEI SISTEMI ELETTRICI DI POTENZA	R. NAPOLI	289
IN497	ANALISI STRUMENTALE E PROVE SUI MATERIALI	da nominare	83
IN018	ANTENNE	M. OREFICE	217
IN020	APPARECCHIATURE DI MANOVRA E INTERRUZIONE	G. CANTARELLA	290
IN019	APPARECCHI ELETTRICI DI COMANDO	M. TOSONI	291
IN022	APPLICAZIONI ELETTROMECCANICHE	F. DONATI	292
IN023	APPLICAZIONI INDUSTRIALI DELL'ELETTROTECNICA	E. GIUFFRIDA	350
IN498	APPLICAZIONI MATEMATICHE PER L'ELETTRONICA	G. TEPATÌ	218
IN024	ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA	E. INNAURATO	149
IN026	ARCHITETTURA ED URBANISTICA TECNICHE	A. BASTIANINI	150
IN027	ARCHITETTURA TECNICA	V. BORASI	151
IN027	ARCHITETTURA TECNICA	P. SCARZELLA	153
IN029	ARCHITETTURA TECNICA II	M. FIAMENI	154
IN030	ARTE MINERARIA	S. PELIZZA	428
IN031	ATTREZZATURE DI PRODUZIONE	A. DE FILIPPI	351
IN032	AUTOMAZIONE	R. GENESIO	219-293
IN033	AUTOMAZIONE A FLUIDO E FLUIDICA	G. BELFORTE	352
IN034	AUTOMAZIONE DELLE MISURE ELETTRONICHE E TELEMISURE	U. PISANI	220
IN583	AZIONAMENTI ELETTRICI	A. VAGATI	294
IN036	CALCOLATORI E PROGRAMMAZIONE	A. SERRA	221
IN040	CALCOLO E PROGETTO DI MACCHINE	P.M. CALDERALE	353
IN041	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	C. DAGNINO	222-295

<i>Codice</i>	<i>Insegnamento</i>	<i>Docente</i>	<i>Pagina</i>
IN041	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	G. MONEGATO	29-84-155-354-479
IN042	CALCOLO STRUTTURALE DI COMPONENTI NUCLEARI	R. CIUFFI	480
IN043	CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI	R. ZICH	223
IN043	CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI	da nominare	223
IN044	CATALISI E CALIZZATORI (sem.)	M. PANETTI	85
IN047	CHIMICA APPLICATA	C. BRISI	86-429-481
IN048	CHIMICA APPLICATA	F. ABBATTISTA	30
IN048	CHIMICA APPLICATA	G. PRADELLI	355
IN049	CHIMICA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI	G.B. SARACCO	87-482
IN050	CHIMICA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI CERAMICI E REFRATTARI	I. AMATO	88
IN051	CHIMICA FISICA	M. MAJA	89
IN053	CHIMICA INDUSTRIALE	G.B. SARACCO	90
IN052	CHIMICA MACROMOLECOLARE E TECNOLOGIA DEGLI ALTI POLIMERI	A. PRIOLA	91
IN056	CHIMICA ORGANICA	M. PANETTI	92
IN058	CHIMICA TESSILE	F. FERRERO	93
IN503	COLTIVAZIONE E GESTIONE DELLE CAVE (sem.)	M. FORNARO	430
IN061	COMMUTAZIONE E TRAFFICO TELEFONICO	S. TREVES	224
IN064	COMPLEMENTI DI CAMPI ELETTROMAGNETICI	I. MONTROSSET	225
IN065	COMPLEMENTI DI CONTROLLI AUTOMATICI	M. VALLAURI	226-296
IN069	COMPLEMENTI DI IDRAULICA	G. PEZZOLI	156
IN070	COMPLEMENTI DI IMPIANTI NUCLEARI	G. DEL TIN	483
IN584	COMPLEMENTI DI MACCHINE ELETTRICHE	M. LAZZARI	297
IN071	COMPLEMENTI DI MATEMATICA	R. ASCOLI	227
IN072	COMPLEMENTI DI MATEMATICA	P.P. CIVALLERI	31-298
IN074	COMPLEMENTI DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	P. MARRO	157-356
IN504	COMPLEMENTI DI TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI	D. MAROCCHI	158-357
IN077	COMPLEMENTI DI TOPOGRAFIA	A.M. DE MICHELIS	159
IN079	COMPONENTI ELETTRONICI	A.M. RIETTO	228
IN079	COMPONENTI ELETTRONICI	G. CONTE	228
IN478	COMUNICAZIONI ELETTRICHE (gen.)	V. CASTELLANI	229
IN479	COMUNICAZIONI ELETTRICHE (spec.)	M. PENT	230
IN081	CONSOLIDAMENTO DI ROCCE E TERRENI (sem.)	G. BARLA	431
		F. FERRARIS	231

<i>Codice</i>	<i>Insegnamento</i>	<i>Docente</i>	<i>Pagina</i>
IN489	CONTROLLI AUTOMATICI (spec.)	G. MENGA	233
IN082	CONTROLLI AUTOMATICI	G. FIORIO	299-484
IN087	CONTROLLO DEI PROCESSI	D. CARLUCCI	234-300
IN089	CONTROLLO OTTIMALE	E. CANUTO	235
IN090	CORROSIONE E PROTEZIONE DEI MATERIALI METALLICI	M. MAJA	94-358
IN091	COSTRUZIONE DI GALLERIE (sem.)	N. INNAURATO	432
IN093	COSTRUZIONE DI MACCHINE	G. CURTI	302-485
IN492	COSTRUZIONE DI MACCHINE	G. BONGIOVANNI	359
IN493	COSTRUZIONE DI MACCHINE	A. GUGLIOTTA	32
IN095	COSTRUZIONE DI MACCHINE PER L'INDUSTRIA CHIMICA	M. GOLA	95
IN096	COSTRUZIONE DI MATERIALE FERROVIARIO	G. ROCCATI	360
IN097	COSTRUZIONE DI MOTORI PER AEROMOBILI	G. GENTA	33
IN101	COSTRUZIONI AERONAUTICHE	P. MORELLI	34
IN103	COSTRUZIONI AERONAUTICHE II	G. SURACE	35
IN104	COSTRUZIONI AUTOMOBILISTICHE	A. MORELLI	361
IN507	COSTRUZIONI BIOMECCANICHE	P.M. CALDERALE	362
IN106	COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI	C. CASTIGLIA	160
IN107	COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI II	C. DE PALMA	162
IN108	COSTRUZIONI ELETTRMECCANICHE	C. ZIMAGLIA	301
IN109	COSTRUZIONI IDRAULICHE	L. BUTERA	163
IN113	DINAMICA DEL VOLO	P. MORELLI	36
IN114	DINAMICA E CONTROLLO DEGLI IMPIANTI NUCLEARI	M. DE SALVE	486
IN509	DISCIPLINA GIURIDICA DELLE ATTIVITA' TECNICO-INGEGNERISTICHE	L. ORUSA	37-164-303
IN481	DISEGNO MECCANICO	S. MANZONI	487
IN120	DISEGNO TECNICO	G. COLOSI	433
IN121	DISPOSITIVI ELETTRONICI ALLO STATO SOLIDO	C. NALDI	236
IN122	DOCUMENTAZIONE ARCHITETTONICA	R. NELVA	165
IN510	ECONOMIA DEI SISTEMI AEROSPAZIALI	G. GUERRA	38
IN127	ECONOMIA E TECNICA AZIENDALE	N. DELLE PIANE	96-304-363
IN127	ECONOMIA E TECNICA AZIENDALE	A. CARIDI	97-304-363
IN132	ELEMENTI DI ELETTRONICA	M. GIORDANA	364
IN137	ELETTROCHIMICA	P. SPINELLI	98
IN138	ELETTROMETALLURGIA	B. DE BENEDETTI	99

<i>Codice</i>	<i>Insegnamento</i>	<i>Docente</i>	<i>Pagina</i>
IN139	ELETTRONICA APPLICATA	U. PISANI	305
IN140	ELETTRONICA APPLICATA I	M. GIORDANA	238
IN140	ELETTRONICA APPLICATA I	F. MUSSINO	238
IN141	ELETTRONICA APPLICATA II	V. POZZOLO	239
IN141	ELETTRONICA APPLICATA II	D. BIEY	239
IN143	ELETTRONICA APPLICATA ALL'AERONAUTICA	A. ARCIDIACONO	39
IN145	ELETTRONICA NUCLEARE	M. VALLAURI	488
IN146	ELETTRONICA PER TELECOMUNICAZIONI	D. DEL CORSO	240
IN149	ELETTROTECNICA	M. TARTAGLIA	166
IN482	ELETTROTECNICA	E. ARRI	40-365
IN482	ELETTROTECNICA	E. BARBISIO	100-365
IN483	ELETTROTECNICA	da nominare	434-489
IN154	ELETTROTECNICA II	L. PIGLIONE	306
IN155	ELICHE ED ELICOTTERI	S. D'ANGELO	41
IN159	ESTIMO	da nominare	167
IN167	FISICA ATOMICA	C. OLDANO	241-490
IN168	FISICA DEI FLUIDI E MAGNETOFLUIDODINAMICA	M. GERMANO	42
IN170	FISICA DELLO STATO SOLIDO	P. MAZZETTI	242
IN171	FISICA DEL REATTORE NUCLEARE	S.E. CORNO	491
IN172	FISICA MATEMATICA	G. RIZZI	243-493
IN173	FISICA NUCLEARE	B. MINETTI	494
IN174	FISICA TECNICA	P. GREGORIO	43-496
IN174	FISICA TECNICA	V. FERRO	101-435
IN175	FISICA TECNICA	C. BOFFA	168
IN176	FISICA TECNICA	C. LOMBARDI	244
IN177	FISICA TECNICA	A. SACCHI	307
IN178	FISICA TECNICA	P. ANGLÉSIO	366
IN178	FISICA TECNICA	M. CALI'	367
IN513	FLUIDODINAMICA	C. CANCELLI	368
IN181	FLUIDODINAMICA DELLE TURBOMACCHINE	L. ZANNETTI	44-369
IN182	FOTOGRAMMETRIA	B. ASTORI	169
IN183	FOTOGRAMMETRIA APPLICATA	C. LESCA	170
IN184	GASDINAMICA	G. JARRE	45

<i>Codice</i>	<i>Insegnamento</i>	<i>Docente</i>	<i>Pagina</i>
IN185	GASDINAMICA II	M. ONORATO	47
IN186	GENERATORI DI CALORE	A.M. BARBERO	370
IN190	GEOFISICA APPLICATA	E. ARMANDO	436
IN514	GEOLOGIA APPLICATA	M. CIVITA	171
IN198	GEOTECNICA	M. JAMIOLKOWSKI	173-437
IN199	GEOTECNICA II	E. PASQUALINI	174-438
IN203	GIACIMENTI MINERARI	S. ZUCCHETTI	439
IN204	IDRAULICA	G. PEZZOLI	175
IN205	IDRAULICA	L. BUTERA	371
IN206	IDRAULICA	E. BUFFA	308-440
IN517	IDROGEOLOGIA APPLICATA	M. CIVITA	441
IN207	IDROLOGIA TECNICA	S.T. SORDO	176-443
IN518	ILLUMINOTECNICA	C. BOFFA	177
IN210	IMPIANTI CHIMICI	A. GIANETTO	102
IN212	IMPIANTI CHIMICI II	R. CONTI	103
IN213	IMPIANTI DI BORDO PER AEROMOBILI	S. CHIESA	48
IN216	IMPIANTI ELETTRICI	R. POME'	309
IN218	IMPIANTI ELETTRICI II	B. COLOMBO	310
IN219	IMPIANTI IDROELETTRICI	P. MOSCA	311
IN220	IMPIANTI MECCANICI	A. MONTE	49-104-372
IN220	IMPIANTI MECCANICI	G. BAUDUCCO	50-105-373
IN221	IMPIANTI MECCANICI II	A. CHIARAVIGLIO	374
IN222	IMPIANTI MINERALURGICI (sem.)	C. CLERICI	444
IN223	IMPIANTI MINERARI	G. GECCHELE	445
IN224	IMPIANTI MINERARI II (sem.)	M. PATRUCCO	446
IN226	IMPIANTI NUCLEARI	C. ARNEODO	497
IN227	IMPIANTI NUCLEO E TERMoeLETTRICI	G. BROSSA	312
IN228	IMPIANTI SPECIALI IDRAULICI	M. SCHIARA	178
IN520	IMPIANTI TERMOTECNICI	G. SAGGESE	179
IN521	IMPIANTI TERMOTECNICI	V. FERRO	375
IN233	INDUSTRIALIZZAZIONE E UNIFICAZIONE EDILIZIA	P. BARDELLI	181
IN523	INGEGNERIA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI	A. DI MOLFETTA	447
IN235	INGEGNERIA DELL'ANTI-INQUINAMENTO	V. SPECCHIA	106

<i>Codice</i>	<i>Insegnamento</i>	<i>Docente</i>	<i>Pagina</i>
IN524	INGEGNERIA SISMICA E PROBLEMI DINAMICI SPECIALI	G.M. BO	182
IN239	ISTITUZIONI DI ELETTROMECCANICA	G. PESSINA	313
IN525	ISTITUZIONI DI STATISTICA	F. IANNELLI	183
IN526	LAVORAZIONE PER DEFORMAZIONE PLASTICA	G. PEROTTI	376
IN245	LITOLOGIA E GEOLOGIA APPLICATE	G. DOTTINO	448
IN246	MACCHINE	G. COLASURDO	51
IN247	MACCHINE	M. ANDRIANO	107-449
IN248	MACCHINE	P. CAMPANARO	314-498
IN249	MACCHINE I	A.E. CATANIA	377
IN250	MACCHINE I (corso unico per meccanici)	M. PANDOLFI	378
IN251	MACCHINE II	E. ANTONELLI	379
IN254	MACCHINE E IMPIANTI ELETTRICI	A. COFFANO	245
IN253	MACCHINE ELETTRICHE	P. FERRARIS	315
IN528	MACCHINE ELETTRICHE STATICHE	F. VILLATA	246-317
IN257	MATEMATICA APPLICATA	N. BELLOMO	380
IN259	MATERIALI PER L'ELETTRONICA	C. GIANOGLIO	318
IN262	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	F. VATTA	52
IN263	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	G. BELFORTE	108-319-381-450
IN264	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE E MACCHINE	G. RICCI	184
IN264	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE E MACCHINE	N. D'ALFIO	184
IN532	MECCANICA BIOMEDICA APPLICATA	F. QUAGLIOTTI	382
IN533	MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO	G. VERGA	451
IN534	MECCANICA DEI ROBOT	A. ROMITI	383
IN269	MECCANICA DELL'AUTOVEICOLO	G. GENTA	384
IN270	MECCANICA DELLE MACCHINE	G. JACAZIO	499
IN271	MECCANICA DELLE MACCHINE E MACCHINE	V. MARCHIS	247
IN272	MECCANICA DELLE ROCCE	G. BARLA	185-452
IN273	MECCANICA DELLE VIBRAZIONI	B. PIOMBO	385
IN275	MECCANICA PER L'INGEGNERIA CHIMICA	B. PIOMBO	109
IN281	MECCANICA STATISTICA APPLICATA	M. RASETTI	500
IN535	MECCANICA SUPERIORE PER INGEGNERI	S. NOCILLA	386
IN283	METALLURGIA E METALLOGRAFIA	A. BURDESE	110
		P. APPENDINO	111

<i>Codice</i>	<i>Insegnamento</i>	<i>Docente</i>	<i>Pagina</i>
IN284	METALLURGIA FISICA	G. PRADELLI	387
IN536	METEOROLOGIA (sem.)	A. LAUSETTI	54
IN290	METROLOGIA DEL TEMPO E DELLA FREQUENZA	C. EGIDI	248
IN291	METROLOGIA GENERALE E MISURE MECCANICHE	A. BRAY	388
IN294	MINERALOGIA E LITOLOGIA	G. MAGNANO	453
IN295	MISURE CHIMICHE E REGOLAZIONI	G.C. BALDI	112
IN296	MISURE ELETTRICHE	S. SARTORI	249
IN296	MISURE ELETTRICHE	I. GORINI	249
IN297	MISURE ELETTRICHE	A. ABETE	320
IN300	MISURE ELETTRONICHE	G. GREGORETTI	250
IN300	MISURE ELETTRONICHE	S. LESCHIUTTA	250
IN301	MISURE NUCLEARI	F. DEMICHELIS	501
IN303	MISURE TERMICHE E REGOLAZIONI	L. CROVINI	113-389
IN306	MODELLISTICA E IDENTIFICAZIONE	V. MAURO	251-321
IN308	MOTORI PER AEROMOBILI	G. BUSSI	55
IN309	MOTORI TERMICI PER TRAZIONE	C.V. FERRARO	390
IN539	NAVIGAZIONE AEREA (sem.)	A. LAUSETTI	56
IN311	OLEODINAMICA E PNEUMATICA	N. NERVEGNA	391
IN314	ORGANIZZAZIONE DELLE MACCHINE NUMERICHE	M. MEZZALAMA	252
IN319	PETROGRAFIA	R. SANDRONE	454
IN320	PETROLCHIMICA	G. GOZZELINO	114
IN541	PREFABBRICAZIONE STRUTTURALE	P. PALUMBO	186
IN325	PREPARAZIONE DEI MINERALI	E. OCCELLA	455
IN326	PRINCIPI DI GEOMECCANICA	L. STRAGIOTTI	456
IN327	PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA	R. CONTI	115
IN524	PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II	G.C. BALDI	116
IN543	PROCESSI BIOLOGICI INDUSTRIALI	G. GENON	117
IN544	PROCESSI MINERALURGICI (sem.)	A. FRISA-MORANDINI	118-457
IN330	PRODUZIONE DI CAMPO E TRASPORTO DEGLI IDROCARBURI	R. VARVELLI	458
IN546	PROGETTO DELLE CARROZZERIE	A. MORELLI	392
IN335	PROGETTO DI AEROMOBILI	E. ANTONA	57
IN336	PROGETTO DI AEROMOBILI II	G. ROMEO	59
IN337	PROGETTO DI APPARECCHIATURE CHIMICHE	U. FASOLI	119

<i>Codice</i>	<i>Insegnamento</i>	<i>Docente</i>	<i>Pagina</i>
IN341	PROPAGAZIONE DI ONDE ELETTROMAGNETICHE	G.E. PERONA	253
IN549	PROSPEZIONE GEOFISICA	E. ARMANDO	459
IN343	PROSPEZIONE GEOMINERARIA	P. NATALE	460
IN550	PROTEZIONE E SICUREZZA NEGLI IMPIANTI NUCLEARI	L. GONELLA	503
IN347	RADIOTECNICA	E. NANO	254
IN551	REATTORI CHIMICI	S. SICARDI	120
IN349	REATTORI NUCLEARI	P. RAVETTO	504
IN552	REGOLAZIONI AUTOMATICHE	A. VILLA	60-393
IN355	RICERCA OPERATIVA	A.M. OSTANELLO	187-255-322-394
IN358	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	E. LEPORATI	61
IN359	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	F. LEVI	188
IN359	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	P. MARRO	188
IN360	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	F. ALGOSTINO	121-323-461-505
IN361	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	U. ROSSETTI	256
IN362	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	A.M. SASSI-PERINO	395
IN556	SICUREZZA E NORMATIVA NELL'INDUSTRIA ESTRATTIVA (sem.)	G. GECHELE	462
IN557	SICUREZZA STRUTTURALE	E. LEPORATI	190
IN365	SIDERURGIA	A. BURDESE	122-396
IN367	SINTESI DELLE RETI ELETTRICHE	C. BECCARI	257
IN490	SISTEMI DI ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE (gen.)	A. LAURENTINI	258-324
IN491	SISTEMI DI ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE (spec.)	A.R. MEO	260
IN369	SISTEMI DI ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE II	E. PICCOLO	261
IN370	SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI	R. DOGLIOTTI	262
IN558	SISTEMI ELETTRICI ED ELETTRONICI DELL'AUTOVEICOLO	E. GIUFFRIDA	397
IN372	SISTEMI OPERATIVI	P. LAFACE	263
IN550	SORGENTI DI RADIAZIONE E MACCHINE ACCELERATRICI	D. BARBERO	506
IN374	SPERIMENTAZIONE DI VOLO	G. CIAMPOLINI	62
IN560	SPERIMENTAZIONE E AFFIDABILITA' DELL'AUTOVEICOLO	P.F. RIVOLO	398
IN561	SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE A FLUIDO	C.V. FERRARO	399
IN562	SPERIMENTAZIONE SU MATERIALI E STRUTTURE	P.G. DEBERNARDI	192
IN380	STRUMENTAZIONE FISICA	L. GONELLA	507
IN381	STRUMENTAZIONE PER BIOINGEGNERIA	R. MERLETTI	264-400
IN382	STRUMENTAZIONE PER L'AUTOMAZIONE	P. SOARDO	265-326

IN383	STRUMENTI DI BORDO	L. BORELLO	63
IN384	STRUTTURE AEROMISSILISTICHE	E. ANTONA	64
IN385	STRUTTURE INFORMATIVE	A. LAURENTINI	266
IN386	TECNICA DEGLI ENDOREATTORI	da nominare	65
IN388	TECNICA DEGLI SCAVI E DEI SONDAGGI	R. MANCINI	463
IN389	TECNICA DEI CANTIERI	G. CAPOSIO	193
IN391	TECNICA DEI SISTEMI NUMERICI (sem.)	E. PICCOLO	401
IN563	TECNICA DEI SONDAGGI PETROLIFERI	G. BALDINI	464
IN564	TECNICA DEL FREDDO	A. TUBERGA	402
IN565	TECNICA DELLA PROGRAMMAZIONE	P. LEPORA	327
IN393	TECNICA DELLA REGOLAZIONE	G. BELFORTE	267
IN566	TECNICA DELLA SICUREZZA AMBIENTALE	C. MORTARINO	403
IN394	TECNICA DELLA SICUREZZA NELLE APPLICAZIONI ELETTRICHE	V. CARRESCIA	328
IN398	TECNICA DELLE COSTRUZIONI I	L. GOFFI	194
IN401	TECNICA DELLE COSTRUZIONI II	G. GUARNIERI	195
IN402	TECNICA DELLE COSTRUZIONI INDUSTRIALI	G.M. BO	123-508
IN402	TECNICA DELLE COSTRUZIONI INDUSTRIALI	C.E. CALLARI	404
IN403	TECNICA DELLE IPERFREQUENZE	G.P. BAVA	268
IN567	TECNICA DEL TRAFFICO E DELLA CIRCOLAZIONE	M. VILLA	196-405
IN407	TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI	A. RUSSO FRATTASI	197-406
IN409	TECNICA IMPULSIVA	E. NANO	269
IN410	TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA	M. LUCCO BORLERA	198
IN410	TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA	P. ROLANDO	198
IN411	TECNOLOGIA DEI MATERIALI METALLICI	D. FIRRAO	407
IN413	TECNOLOGIA MECCANICA	R. IPPOLITO	66-329-509
IN414	TECNOLOGIA MECCANICA	G.F. MICHELETTI	408
IN414	TECNOLOGIA MECCANICA	R. LEVI	409
IN414	TECNOLOGIA MECCANICA	S. ROSSETTO	410
IN414	TECNOLOGIA MECCANICA	G. PEROTTI	411
IN568	TECNOLOGIA, RAPPRESENTAZIONI PROGETTUALI E PRODUZIONE EDILIZIA	L. MORRA	199
IN416	TECNOLOGIE AERONAUTICHE	M. CLERICO	67
IN417	TECNOLOGIE CHIMICHE INDUSTRIALI	N. PICCININI	124
IN422	TECNOLOGIE ELETTROCHIMICHE	P. SPINELLI	125

<i>Codice</i>	<i>Insegnamento</i>	<i>Docente</i>	<i>Pagina</i>
IN423	TECNOLOGIE ELETTRONICHE	V. GHERGIA	270
IN424	TECNOLOGIE METALLURGICHE	M. LUCCO BORLERA	126-466
IN426	TECNOLOGIE NUCLEARI	C. MERLINI	510
IN427	TECNOLOGIE SIDERURGICHE	M. ROSSO	127-412
IN569	TECNOLOGIE SPECIALI MINERARIE	G. BADINO	467
IN429	TECNOLOGIE TESSILI	F. TESTORE	128
IN435	TEORIA DEI SEGNALI	M. AIMONE MARSAN	271
IN436	TEORIA DEI SISTEMI	B. BONA	272
IN436	TEORIA DEI SISTEMI	M. MILANESE	272
IN440	TEORIA DELLE RETI ELETTRICHE	C. BECCARI	274
IN440	TEORIA DELLE RETI ELETTRICHE	M. BIEY	274
IN443	TEORIA E SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI	A. GIANETTO	129
IN442	TEORIA E PROGETTO DEI CIRCUITI LOGICI	L. GILLI	275
IN445	TEORIA STATISTICA DELL'INFORMAZIONE	M. ELIA	276
IN572	TERMOCINETICA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI	M. MALANDRONE	511
IN573	TERMOIDRAULICA BIFASE DEGLI IMPIANTI NUCLEARI	E. LAVAGNO	512
IN448	TERMOTECNICA DEL REATTORE	B. PANELLA	513
IN449	TOPOGRAFIA	B. ASTORI	200
IN449	TOPOGRAFIA	S. DEQUAL	200
IN449	TOPOGRAFIA	C. SENA	201
IN450	TOPOGRAFIA	S. DEQUAL	468
IN452	TRASMISSIONE DI DATI	S. BENEDETTO	277
IN453	TRASMISSIONE TELEFONICA	E. BIGLIERI	278
IN455	URBANISTICA	F. MELLANO	202

INDICE ALFABETICO DEI DOCENTI

ABBATTISTA Fedele	30	BUTERA Luigi	163-371
ABETE Andrea	320	CALDERALE Pasquale Mario	353-362
ALGOSTINO Franco	121-323-461-505	CALI' Michele	367
AMATO Ignazio	88	CALLARI Carlo Emanuele	404
ANDRIANO Matteo	107-449	CAMPANARO Paolo	314-498
ANGLESIO Paolo	366	CANCELLI Claudio	368
ANTONA Ettore	57-64	CANTARELLA Giovanni	290
ANTONELLI Enrico	379	CANUTO Enrico	235
APPENDINO Pietro	111	CAPOSIO Guido	193
ARCIDIACONO Alfio	39	CARIDI Antonino	97-304-363
ARMANDO Ernesto	436-459	CARLUCCI Donato	234-300
ARNEODO Carlo A.	497	CARRESCIA Vito	328
ARRI Ernesto	40-365	CASTELLANI Valentino	229
ASCOLI Renato	227	CASTIGLIA Cesare	160
ASTORI Bruno	169-200	CATANIA Andrea Emilio	377
BADINO Giovanni	467	CHIARAVIGLIO Alberto	374
BALDI Giancarlo	112-116	CHIESA Sergio	48
BALDINI Giovanni	464	CIAMPOLINI Giulio	62
BARBERO Antonio M.	370	CIUFFI Renzo	480
BARBERO Diego	506	CIVALLERI Pier Paolo	31-298
BARBISIO Edoardo	100-365	CIVITA Massimo	171-441
BARDELLI Pier Giovanni	181	CLERICI Carlo	444
BARLA Giovanni	185-431-452	CLERICO Margherita	67
BASTIANINI Attilio	150	COFFANO Antonio	245
BAUDUCCO Giovanni	50-105-373	COLASURDO Guido	13-51
BAVA Gian Paolo	268	COLOMBO Bassano	310
BECCARI Claudio	257-274	COLOSI Giuseppe	433
BELFORTE Guido	108-319-352-381-450	CONTE Gianni	228
BELFORTE Gustavo	267	CONTI Romualdo	103-115
BELLOMO Nicola	380	CORNO Silvio Edoardo	491
BENEDETTO Sergio	277	CROVINI Luigi	113-389
BIEY Domenico	239	CURTI Graziano	302-485
BIEY Mario	274	DAGNINO Catterina	222-295
BIGLIERI Ezio	278	D'ALFIO Nicola	184
BO Gian Mario	182-123-508	D'ANGELO Salvatore	41
BOFFA Cesare	168-177	DE BENEDETTI Bruno	99
BONA Basilio	272	DEBERNARDI Pier Giorgio	192
BONGIOVANNI Guido	359	DE FILIPPI Augusto	351
BORASI Vincenzo	151	DEL CORSO Dante	240
BORELLO Lorenzo	63	DELLEPIANE Nicola	96-304-363
BOTTINO Giannantonio	448	DEL TIN Giovanni	483
BRAY Athos	388-429	DE MICHELIS Anna Maria	159
BRISI Cesare	86-429-481	DEMICHELIS Francesca	501
BROSSA Giandomenico	312	DE PALMA Carlo	162
BUFFA Enzo	308-440	DEQUAL Sergio	200-468
BURDESE Aurelio	110-122-396	DE SALVE Mario	486
BUSSI Giuseppe	55	DI FOLFETTA Antonio	447

DOGLIOTTI Renato	262	LESCHIUTTA Sigfrido	250
DONATI Francesco	292	LEVI Franco	188
ELIA Michele	276	LEVI Raffaello	409
EGIDI Claudio	248	LOMBARDI Carla	244
FASOLI Ugo	119	LUCCO BORLERA Maria	126-158-466
FERRARIS Franco	231	MAGNANO Giorgio	453
FERRARIS Paolo	315	MAJA Mario	89-94-358
FERRARO Carlo Vincenzo	390-399	MALANDRONE Mario	511
FERRERO Franco	93	MANCINI Renato	463
FERRO Vincenzo	101-375-435	MANZONI Silvio	487
FIAMENI Mario	154	MARCHIS Vittorio	247
FIORIO Giovanni	299-484	MAROCCHI Dante	158-357
FIRRAO Donato	407	MARRO Piero	157-188-356
FORNARO Mauro	430	MARSAN Marco Ajmone	271
FRISA MORANDINI Angelica	118-457	MATTEUCCI Elio	427
GECHELE Giulio	445-462	MAURO Vito	251-321
GENESIO Roberto	219-293	MAZZETTI Piero	242
GENON Giuseppe	117	MELLANO Franco	202
GENTA Giancarlo	33-384	MENGA Giuseppe	233
GERMANO Massimo	42	MEO Angelo Raffaele	260
GHERGIA Vittorio	270	MERLETTI Roberto	264-400
GIANETTO Agostino	102-129	MERLINI Cesare	510
GIANOGLIO Carlo	318	MEZZALAMA Marco	252
GILLI Luigi	275	MICHELETTO Gian Federico	408
GIORDANA Marco	238-364	MILANESE Mario	272
GIUFFRIDA Emilio	350-397	MINETTI Bruno	494
GOFFI Luigi	194	MONEGATO Giovanni	29-84-155-354-479
GOLA Muzio	95	MONTE Armando	49-104-372
GONELLA Luigi	503-507	MONTROSSET Ivo	225
GORINI Italo	249	MORELLI Alberto	361-392
GOZZELLINO Giuseppe	114	MORELLI Piero	34-36
GREGORETTI Giulio	250	MORRA Luigi	199
GREGORIO Paolo	43-496	MORTARINO Carlo	25-403
GUARNIERI Giuseppe	195	MOSCA Paolo	311
GUERRA Gianni	38	MUSSINO Franco	238
GUGLIOTTA Antonio	32	NALDI Carlo	236
IANNELLI Francesco	183	NANO Ermanno	254-269
INNAURATO Ennio	149	NAPOLI Roberto	289
INNAURATO Nicola	432	NATALE Pietro	460
IPPOLITO Rosolino	66-329-509	NELVA Riccardo	165
JACAZIO Giovanni	499	NERVEGNA Nicola	391
JAMIOLKOWSKI Michele	173-437	NOCILLA Silvio	386
JARRE Giovanni	45	OCCELLA Enea	455
LAFACE Piero	263	OLDANO Claudio	241-490
LAURENTINI Aldo	258-266-324	ONORATO Michele	47
LAUSETTI Attilio	27-54-56	OREFICE Mario	217
LAVAGNO Evasio	512	ORUSA Luciano	37-164-303
LEPORA Paolo	327	OSTANELLO	
LEPORATI Ezio	61-190	Anna Maria	187-255-322-394
LESCA Corrado	170	PALUMBO Piero	186

PANDOLFI Maurizio	378	ROSSO Mario	127-412
PANELLA Bruno	513	RUSSO FRATTASI Alberto	197-406
PANETTI Maurizio	85-92	SACCHI Alfredo	148-307
PASQUALINI Erio	174-438	SAGGESE Giovanni	179
PATRUCCO Mario	446	SANDRONE Riccardo	454
PELIZZA Sebastiano	428	SARACCO Giovanni B.	87-90-482
PENT Mario	230	SARTORI Sergio	249
PERONA Giovanni Emilio	253	SASSI PERINO Angiola Maria	395
PEROTTI Giovanni	376-411	SCARZELLA Paolo	153
PESSINA Gaetano	313	SCHIARA Marcello	178
PEZZOLI Giannantonio	156-175	SENA Carmelo	201
PICCININI Norberto	124	SERRA Angelo	221
PICCOLO Elio	261-401	SICARDI Silvio	120
PIGLIONE Luigi	306	SOARDO Paolo	265-326
PIOMBO Bruno	109-385	SORDO Sebastiano Teresio	176-443
PISANI Umberto	220-305	SPECCHIA Vito	106
POME' Roberto	309	SPINELLI Paolo	98-125
POZZOLO Vincenzo	239	STRAGIOTTI Lelio	456
PRADELLI Giorgio	355	SURACE Giuseppe	35
PRIOLA Aldo	91	TARTAGLIA Michele	166
QUAGLIA Mario	147	TEPPATI Giancarlo	218
QUAGLIOTTI Fulvia	382	TESTORE Francantonio	128
QUORI Fiorenzo	23-349	TREVES Sergio	224
RASETTI Mario	500	TUBERGA Armando	402
RAVETTO Pietro	504	VALLAURI Maurizio	226-296-488
RICCI Giuseppe	184	VARVELLI Riccardo	458
RIETTO Anna Maria	228	VATTA Furio	52
RIVOLO Pier Franco	398	VERGA Gaudenzio	451
RIZZI Guido	243-493	VILLA Agostino	60-393
ROCCATI Giovanni	360	VILLA Mario	196-405
ROLANDO Piero	198	VILLATA Franco	246-317
ROMEO Giulio	59	ZANETTI Luca	44-369
ROMITI Ario	383	ZICH Rodolfo	223
ROSSETTI Ugo	256	ZIMAGLIA Carlo	301
ROSSETTO Sergio	410	ZUCCHETTI Stefano	439