# CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE

# CORSO DI LAUREA INGEGNERIA NUCLEARE

# CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE

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

Esistono 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 meno applicativa.

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 lavoratori di ricerca.

- Termotecnico. E' principalmente rivolto alla progettazione, alla costruzione e all'esercizio delle centrali elettronucleari di potenza; particolare attenzione è dedicata allo studio impiantistico dal punto di vista della termofluidodinamica e della dinamica generale d'impianto.
- 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 di esercizio e di incidente.
- Neutronico. Approfondisce gli aspetti essenziali della fisica dei reattori e della
  neutronica applicata, sia statica che dinamica, con lo scopo di preparare alla
  progettazione neutronica delle centrali di potenza e a svolgere lavoro di ricerca
  applicata anche nel settore del riciclo del combustibile.
- Dinamica e controllo. Analizza i problemi della stabilità, della regolazione e del controllo degli impianti di potenza nel loro complesso, con particolare riquardo ai problemi di protezione e sicurezza nucleare.
- Fisico. E' orientato precipuamente alla formazione di tecnici e ricercatori nel settore della fisica applicata, anche non necessariamente energetica, nonché alla preparazione di specialisti nel campo delle radiazioni e della strumentazione fisica.

With property with a second of the second of

# PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DI CORSO DI LAUREA

Silvio Edoardo CORNO

Dip. di Energetica - Ist. di Fisica Tecnica e Impianti Nucleari

# COMMISSIONE PER L'ESAME DEI PIANI DI STUDIO INDIVIDUALI

E

# COMMISSIONE PER LE PROVE DI SINTESI

Carlo ARNEODO Dip. di Energetica

Ist. di Fisica tecnica e Impianti Nucleari

Paolo CAMPANARO Ist. di Macchine e motori per aeromobili

Graziano CURTI Ist. di Costruzione di macchine

Francesca DE MICHELIS Dip. di Fisica

Ist. di Fisica sperimentale

Luigi GONELLA Dip. di Fisica

Ist. di Fisica sperimentale

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

A partire dall'Anno Accademico 1981/82 è entrato in vigore (gradualmente a partire dal 3° anno di corso) il nuovo Piano Ufficiale del Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare. Per il periodo di tempo necessario ad estendere a tutti gli allievi il nuovo Piano (due anni di transitorio) verrà riportato sia il nuovo sia il vecchio Piano di Studi.

Al nuovo Piano di Studi devono far riferimento gli allievi che, nell'a.a. 1982/83, sono iscritti al 1°, al 2°, al 3° e al 4° anno di corso.

Al vecchio Piano di Studi devono invece fare riferimento gli allievi che, nell'a.a. 1982/83, sono iscritti al 5° anno di corso.

# NUOVO PIANO UFFICIALE (per gli allievi regolari iscritti al 1°, 2°, 3° e 4° anno di corso)

Anno	1° periodo didattico	2° periodo didattico
1	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 matema- tica (**) IN047 Chimica applicata (***)
Ш	IN360 Scienza delle costruzioni IN174 Fisica tecnica IN483 Elettrotecnica	IN270 Meccanica delle macchine IN167 Fisica atomica IN049 Chimica degli impianti nu- cleari (****)
IV	IN173 Fisica nucleare IN171 Fisica del reattore nu- cleare X	IN248 Macchine IN226 Impianti nucleari Y
V	IN145 Elettronica nucleare U V	IN093 Costruzione di macchine W Z

<sup>(\*)</sup> Insegnamento anticipato del triennio.

<sup>(\*\*)</sup> Insegnamento sostitutivo di Geometria II.

<sup>(\*\*\*)</sup> Insegnamento appartenente al triennio di cui si consiglia l'anticipo.

<sup>(\*\*\*\*)</sup> Nell'a.a. 1982/83 questo corso sarà eccezionalmente tenuto al 1º periodo didattico.

I rorsi X, Y, Z, U, V, W 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. 1982/83 sono riportati qui di seguito, con gli elenchi delle materie che li costituiscono. Il primo numero, che precede ogni insegnamento, indica il relativo periodo didattico, mentre la lettera maiuscola ad esso antecedente, fornisce la più opportuno collocazione dell'insegnamento stesso nei vari piani di studio.

# Indirizzo TERMOTECNICO

X	1°	IN571	Termocinetica degli impianti nucleari (ex IN446 Termocinetica)
Y	2°	IN573	Termoidraulica bifase degli impianti nucleari (ex IN451 Trasmis-

U	1°	IN448	Termotecnica	del	reattore

V 1° IN426 Tecnologie nucleari

W 2° IN114 Dinamica e controllo degli impianti nucleari

Z 2° IN070 Complementi di impianti nucleari

# Indirizzo MECCANICO

X	1°	IN571	Termocinetica degli impianti nucleari (ex IN446 Termocinetica)
---	----	-------	--

Y 2° IN413 Tecnologia meccanica

U 1° IN402 Tecnica delle costruzioni industriali

V 1° IN426 Tecnologie nucleari

W 2° IN042 Calcolo strutturale di componenti nucleari

Z 2° IN070 Complementi di impianti nucleari

# Indirizzo NEUTRONICO

X	1°	IN571	Termocinetica degli impianti nucleari (ex IN446 Termocinetica)	
---	----	-------	--	--

Y 2° IN041 Calcolo numerico e programmazione

U 1° IN349 Reattori nucleari

V 1° IN426 Tecnologie nucleari

W 2° IN114 Dinamica e controllo degli impianti nucleari

Z 2° IN301 Misure nucleari

# Indirizzo DINAMICA E CONTROLLO

X 1° IN082 Controlli a	utomatici
------------------------	-----------

Y 2° IN041 Calcolo numerico e programmazione

U 1° IN349 Reattori nucleari

V 1° IN550 Protezione e sicurezza negli impianti nucleari (ex IN344 Protezione e sicurezza negli impianti nucleari (sem.))

W 2° IN114 Dinamica e controllo degli impianti nucleari

Z 2° IN070 Complementi di impianti nucleari

#### Indirizzo FISICO

X	1°	IN172	Fisica matematica
Y	2°	IN380	Strumentazione fisica
			Reattori nucleari
V	1°	IN281	Meccanica statistica applicata
			Sorgenti di radiazioni e macchine acceleratrici (ex IN252 Macc

ne acceleratrici (sem.))
Z 2° IN301 Misure nucleari

# VECCHIO PIANO DEGLI STUDI UFFICIALI (per gli allievi nucleari regolari iscritti al 5° anno di corso)

Anno	1° periodo didattico	2° periodo didattico
٧	IN145 Elettronica nucleare	U
	IN226 Impianti Nucleari	V
	Z	W
	H	L

Con solo riferimento al 5° anno di corso, i 5 indirizzi che la Facoltà realizzerà nell'a.a. 1982/83 sono riportati qui di seguito, con gli elenchi delle materie che li costituiscono. Il primo numero, che precede ogni insegnamento indica il relativo periodo didattico, mentre la lettera maiuscola ad esso antecedente fornisce la più opportuna collocazione dell'insegnamento stesso nei vari piani di studio.

# Indirizzo TERMOTECNICO

UW	2°	IN070	Complementi di impianti nucleari
	2°	IN426	Tecnologie nucleari
V	2°	IN114	Dinamica e controllo degli impianti nucleari Termotecnica del reattore

# Indirizzo MECCANICO

U	2°	IN070	Complementi di impianti nucleari
W	2°	IN426	Tecnologie nucleari
			Calcolo strutturale di componenti nucleari

# Indirizzo NEUTRONICO

			Reattori nucleari
W	2°	IN426	Tecnologie nucleari
			Dinamica e controllo degli impianti nucleari
H			Misure nucleari

# Indirizzo DINAMICA E CONTROLLO

V	2°	IN114	Dinamica e controllo degli impianti nucleari	
---	----	-------	--	--

Z 1° IN349 Reattori nucleari

U 2° IN070 Complementi di impianti nucleari

Y 1° IN082 Controlli automatici

L 2° IN550 Protezione e sicurezza negli impianti nucleari (ex IN344 Protezione e sicurezza negli impianti nucleari (sem.))

# Indirizzo FISICO

Z	1°	IN349	Reattori	nucleari
---	----	-------	----------	----------

H 1° IN301 Misure nucleari

U 2° IN380 Strumentazione fisica

L 2° IN559 Sorgenti di radiazioni e macchine acceleratrici (ex IN252 Macchine acceleratrici (sem.))

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.

Gli studenti che abbiano frequentato le materie

IN446 Termocinetica

IN451 Trasmissione del calore

potranno sostenere l'esame delle discipline rispettivamente equivalenti di

IN571 Termocinetica degli impianti nucleari

IN573 Termoidraulica bifase negli impianti nucleari

# 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 sequen	ti 15	materie:
a,	ic sequen	LI IJ	mattic.

- 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
  - 1° IN483 Elettrotecnica
  - 2° IN073 Complementi di matematica
  - 1° IN171 Fisica del reattore nucleare
  - 2° IN226 Impianti nucleari
- b) almeno 6 delle seguenti materie:
- (^) 2° 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) e nel seguente elenco:
  - 2° IN041 Calcolo numerico e programmazione
  - 2° IN042 Calcolo strutturale di componenti nucleari
  - 2° IN070 Complementi di impianti nucleari
  - 1° IN082 Controlli automatici (Elettrotecnica)
  - 2° IN114 Dinamica e controllo degli impianti nucleari
  - 1° IN172 Fisica matematica
  - 1° IN170 Fisica dello stato solido
  - 1° IN281 Meccanica statistica applicata
  - 2° IN535 Meccanica superiore per ingegneri
- (\*) 1° IN301 Misure nucleari
  - 1° IN349 Reattori nucleari

- 2° IN559 Sorgenti di radiazioni e macchine acceleratrici (ex IN252 Macchine acceleratrici
- 2° IN380 Strumentazione fisica
- 1° IN565 Tecnica della programmazione (ex IN135 Elementi di programmazione (sem.); ex IN136 Elementi di statistica (sem.))
- 1° IN402 Tecnica delle costruzioni industriali
- 2° IN413 Tecnologia meccanica
- \*\*)2° IN426 Tecnologie nucleari
  - 1° IN571 Termocinetica degli impianti nucleari (ex IN446 Termocinetica)
  - 1° IN448 Termotecnica del reattore
  - 2° IN573 Termoidraulica bifase degli impianti nucleari (ex IN451 Trasmissione del calore)
- (\*\*)2° IN550 Protezione e sicurezza negli impianti nucleari (ex IN344 Protezione e sicurezza negli impianti nucleari (sem.))
- d) due altre materie da scegliere ancora fra le indicate nel gruppo b) o c) o, eventualmente, fra quelle di altri corsi di laurea.

<sup>(^)</sup> Nell'a.a. 1982/83 tale corso sarà tenuto solo nel 1 periodo didattico. Gli studenti che per questa ragione abbiano difficoltà a seguirlo potranno sostituirlo con una materia in più dell'elenco c) al 2º periodo didattico.

<sup>(\*)</sup> Dall'a.a. 1983/84 tale discipline si trova nel 2 periodo didattico del 5 anno.

<sup>(\*\*)</sup> Dall'a.a. 1983/84 tale disciplina si trova nel 1 periodo didattico del 5 anno.

# 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:

- IN170 Fisica dello stato solido vedi Corso di laurea in Ingegneria Elettronica
- Meccanica superiore per ingegneri vedi Corso di laurea in Ingegneria Meccanica
- IN565 Tecnica della programmazione vedi Corso di laurea in Ingegneria Elettrotecnica

# IN041 CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE

Prof. Giovanni MONEGATO

IV ANNO

2° PERIODO DIDATTICO
INDIRIZZO: Neutronico -

Dinamica e controllo

DIP. di Matematica IST. Matematico

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.

Calcolo delle radici di equazioni: metodi di bisezione, corde, Newton e altri; metodi iterativi in generale.

Risoluzione di sistemi di equazioni lineari. Metodo di Gauss, fattorizzazione LU e Choleski. Metodi iterativi: Jacobi, Gauss-Seidel, SOR. Alcuni metodi per la risoluzione di sistemi di equazioni non lineari.

Calcolo degli autovalori e autovettori di matrici: metodo delle potenze, Jacobi e Householder. Caso delle matrici tridiagonali simmetriche.

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

Derivazione numerica.

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

Equazioni differenziali ordinarie con valori iniziali: metodi one-step e multistep. Sistemi stiff. Problemi con valori al contorno.

Equazioni differenziali alle derivate parziali: metodi alle differenze.

#### 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, 1978.

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

# IN042 CALCOLO STRUTTURALE DI COMPONENTI NUCLEARI

# Prof. Antonio GUGLIOTTA IST. di Motorizzazione

V ANNO	Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
2º PERIODO DIDATTICO	Annuale (ore)	52	32	
INDIRIZZO: Meccanico	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

IST. di Chimica Generale Applicata e di Metallurgia

II 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.

<sup>(\*)</sup> Insegnamento del triennio anticipato al biennio.

# IN049 CHIMICA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI

Prof. Giovanni Battista SARACCO

IV ANNO 2° PERIODO DIDATTICO DIP, di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica

IST. di Chimica Industriale

Impegno didattico Lez. Es. Lab. Annuale (ore) 56 20 20 Settimanale (ore) 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

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 seprazioni per precipitazione con dosamenti strumentali.

#### TESTI CONSIGLIATI

Dispense del corso edite dalla CLUT.

# IN070 COMPLEMENTI DI IMPIANTI NUCLEARI

# Prof. Giovanni DEL TIN

V ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIBIZZO: Termotecnico -

Meccanico -Dinamica e Controllo DIP, di Energetica

IST. di Fisica Tecnica e Impianti Nucleari

Impegno didattico Lez. Es.
Annuale (ore) 75 25

Settimanale (ore) 6 2 -

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

Il corso prevede lezioni ed esercitazioni in aula.

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

#### PROGRAMMA

Cause di disuniformità nella distribuzione spaziale della potenza. Metodi di appiattimento della distribuzione di potenza. Controllo della reattività: barre di controllo. Controllo chimico. Veleni bruciabili. Variazione di spettro. Procedure di ricarica del combustibile nel nocciolo. Distribuzione di potenza nei transitori di avviamento, spegnimento e nei vari transitori 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 (Lohs). 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 gasti. 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. Luigi PIGLIONE

IV ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

DIP. di Elettrotecnica
IST. di Macchine Elettriche
Impegno didattico Lez. Es. Lab.
Annuale (ore) 72 20 —
Settimanale (ore) 6 2 —

Il corso di Controlli automatici è rivolto all'analisi di sistemi fisici, con lo scopo principale di determinare le condizioni di funzionamento dinamiche e di rendere possibile il comando di alcune loro grandezze (ad esempio la velocità per un motore, la tensione per un generatore, ecc.) in modo automatico.

Il corso propone applicazioni numeriche integrate con lo svolgimento degli argomenti: sono facoltative esercitazioni di calcolo automatico.

Nozioni propedeutiche: Elettrotecnica, Complementi di matematica.

#### **PROGRAMMA**

Di tutte le possibili eventualità che si incontrano nelle pratiche applicazioni, il corso delimita il suo campo di interesse ai sistemi lineari a una sola grandezza di comando cioè quelle applicazioni, che se pure più semplici sono però di maggiore diffusione e impiego; esso rimanda ai corsi seguenti di Automazione e Tecnica della Regolazione lo studio di sistemi più complessi o con specifiche più stringenti. Anche sotto l'aspetto del futuro sviluppo nell'automatica, il corso rappresenta uno studio essenziale di base e di formazione che pone i principi fondamentali per l'approfondimento ulteriore. Indipendentemente da uno sviluppo di interesse nel campo dell'automatica: il corso accentua l'attenzione sull'analisi degli apparati fisici (siano essi di limitate dimensioni quali ad esempio un transistore oppure di complessità maggiori quali ad esempio un intero impianto elettrico) sotto l'aspetto di sistema. Questo punto di vista tende a illustrare il comportamente e le caratteristiche di un apparato in base alle relazioni esistenti tra le grandezze fisiche che agiscono sull'apparato stesso e le grandezze che da questo sono originate, in certo modo prescindendo dalla costituzione di esso. Ciò permette di costituire sistemi più complessi aventi componenti fisici di diversa natura (elettronici, elettromeccanici, fluidi, termici, ecc.) e renderli operativi in base alle loro conoscenze come sistema e non in base alla conoscenza specifica di ciascun elemento, quest'ultimo destinato ai vari specialisti dei singoli rami.

#### TESTI CONSIGLIATI

D'Azzo and Honpis - Linear Control System Analysis and Design - McGraw Hill, New York. - Controlli automatici - CLUT (sede interna).

# IN093 COSTRUZIONE DI MACCHINE

Prof. Graziano CURTI

DIP. di Meccanica

IST. di Costruzione di Macchine

V ANNO

Impegno didattico

Es. Lab.

2° PERIODO DIDATTICO

Annuale (ore)

80 60

Settimanel (ore)

1 07

STREET

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 ci 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

V ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Neutronico -

Termotecnico -Dinamica e controllo DIP. di Energetica IST. di Fisica Tecnica e Impianti Nucleari Impegno didattico Lez. Es. Lab.

Annuale (ore) 84 20 —

Settimanale (ore) 6 2 —

Il corso si propone di fornire le metodologie per l'analisi della dinamica delle centrali nucleotermoelettriche e per il controllo automatico delle stesse. Esso si propone di sviluppare: a) caratteristiche funzionali delle centrali 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, Controllo 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 compositi. 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 Xeno. Barre di controllo.

Parte IV - Strumentazione nucleare in core ed ex core. Misure di flussi neutronici, período, 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 -.

# IN145 ELETTRONICA NUCLEARE

# Prof. Maurizio VALLAURI

V ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

DIP, di Elettronica

IST, di Elettronica e Telecomunicazioni Impegno didattico Lez. Es. Lab. Annuale (ore) 70 20 — Settimanale (ore) 6 2 —

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

Il corso prevede ore di lezione ed esercitazione.

Nozioni propedeutiche: Elettrotecnica, Complementi di matematica.

#### PROGRAMMA

- 1) Fondamenti. Circuiti e sistemi. Reti lineari resistive. Sorgenti dipendenti. Amplificatori operazionali. Capacità e induttanze.
- 2) Elettronica lineare. Processi di conduzione elettrica. Circuiti a diodi e applicazioni. Elettronica fisica dei transistori bipolari, FET, MOS. Circuiti con transistori: modelli per grandi e piccoli segnali. Reazione nei sistemi fisici, reazione e stabilità negli amplificatori. Risposta in frequenza degli amplificatori.
- 3) Elettronica non lineare. Circuiti digitali: 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**

#### Prof. Vito DANIELE

III ANNO 1° PERIODO DIDATTICO DIP. di Elettronica
IST. di Elettrotecnica
Impegno didattico Lez. Es. Lab.
Annuale (ore) 80 30 -

6

2

Settimanale (ore)

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 circuitale utile per lo studio di tutti i sistemi.

#### TESTI CONSIGLIATI

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

# IN167 FISICA ATOMICA

#### Docente da nominare

III ANNO	Impegno didattico	Lez.	Es.	Lab.
2° PERIODO DIDATTICO	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

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. Fûnzioni 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. Cenno alle statistiche quantistiche.

#### 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-impulsoforza e accelerazione. Cenno all'elettrodinamica: il quadrivettore densità di carica e di corrente.

#### LABORATORI

Effetto fotoelettrico, determinazione del rapporto e/m, interferometro di Michelson.

#### TESTI CONSIGLIATI

- R. Malvano, D. Barbero Introduzione alla Fisica atomica e molecolare -.
- L. Schiff Meccanica quantistica -.
- R. Resnick Introduzione alla relatività ristretta.

# IN171 FISICA DEL REATTORE NUCLEARE

Prof. Silvio Edoardo CORNO

IV ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

DIP. di Energetica

IST. di Fisica Tecnica e Impianti Nucleari

Impegno didattico Lez. Es. Lab.

Annuale (ore) - - - - 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 fisicomatematici caratteristici dell'energia, 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.

# 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. Noazioni elementari sulla stabilità.
- 8) Metodi perturbativi nella statica e nella dinamica. Applicazioni ad uno e due gruppi energetici.
- 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 a fusione.

#### TESTI CONSIGLIATI

B. Montagnini - Lezioni di fisica del Reattore Nucleare - Università di Pisa, 1981.
I.R. Lamarsh - Introduction to Nuclear Reactor Theory - Ed. Addison-Wesley, 1966.
A.M. Weinberg, E.P. Wigner - The Physical Theory of Neutron Chain Reactors - The University of Chicago Press., 1958.
J.J. Duderstadt - Nuclear Reactor Analysis - J. Wiley & Sons. New York, 1976.

The control of the co

the second secon

# IN172 FISICA MATEMATICA

Prof. Guido RIZZI

IV ANNO

1° PERIODO DIDATTICO
INDIRIZZO: Fisico

DIP. di Matematica

IST. di Meccanica Razionale

Impegno didattico Lez. Es. Lab Annuale (ore) 100 - -

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

IV ANNO 1° PERIODO DIDATTICO DIP di Fisica

IST, di Fisica Sperimentale

Impegno didattico I ez Es. Lab. Annuale (ore) 56 24 48

Settimanale (ore)

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 riquardante 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 y nella materia: perdita di energia e range di particelle cariche; interazioni dei raggi y 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

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.

# 488 NUCLEARE

#### LABORATORI

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

the second of the second and the second seco

THE PARTY OF THE PARTY AND THE PROPERTY OF THE PARTY OF T

The state of the s

# 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

III ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

DIP. di Energetica

IST. di Fisica Tecnica e Impianti Nucleari

Impegno didattico Lez. Es. L

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.

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

#### ESERCITAZIONI

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

#### TESTI CONSIGLIATI

C. Boffa, P. Gregorio - Elementi di fisica tecnica, Vol. II - Ed. Levrotto & Bella, Torino

# IN226 IMPIANTI NUCLEARI

Prof. Carlo ARNEODO

IV ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

DIP. di Energetica

IST. di Fisica Tecnica e Impianti Nucleari 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 cal-

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 discurezza (Mark III).

Sicurezza degli impianti: dosi e radiazioni rapporto Rasmussen; incidenti in Impianti (Windscale); 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

IST. di Macchine e Motori per aeromobili

2° PERIODO DIDATTICO

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

Nel corso verranno 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.

A. Beccari - Macchine - Vol. 1 - CLUT.

# IN270 MECCANICA DELLE MACCHINE

Prof. Giovanni JACAZIO

III ANNO 3° PERIODO DIDATTICO DIP, di Meccanica

IST. di Meccanica Applicata alle Macchine
Impegno didattico Lez. Es. Lab.
Annuale (ore) 70 52 8

Settimanale (ore) 6 4

Il corso tratti 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, servomeccanismi, stabilità dei sistemi lineari, metodi di studio dei sistemi non lineari, sistemi meccanici non lineari).

Equilibramento dei sistemi rotanti.

Fenomeni giroscopici.

#### ESERCITAZIONI

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

#### LABORATORI

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

#### TESTI CONSIGLIATI

G. Jacazio, B. Piombo - Meccanica applicata alle macchine - Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1977.
G. Jacazio, B. Piombo - Esercizi di meccanica applicata alle macchine - Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1982.

# **IN281 MECCANICA STATISTICA APPLICATA**

Prof. Mario RASETTI

V ANNO

1° PERIODO DIDATTICO
INDIRIZZO: Fisico

DIP. di Fisica

IST, di Fisica Sperimentale

Impegno didattico Lez. Es. Lab. Annuale (ore) 78 26 -

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

Svolgono problemi ed esempi relativi alle applicazioni.

#### TESTI CONSIGLIATI

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

# IN301 MISURE NUCLEARI

Prof. Francesca DEMICHELIS

DIP di Fisica

V ANNO

IST, di Fisica Sperimentale

1° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico

I ez Fs Lab Annuale (ore)

INDIBIZZO: Neutronico - Fisico

Settimanale (ore)

72

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 a e B e di radiazioni y. Spettrometria B. Spettrometria y. 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 magnetichi. 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, y, Ray Spectroscopy -.

the property of the provision of the same meaning of calculations that a discussion and the

# IN550 PROTEZIONE E SICUREZZA NEGLI IMPIANTI NUCLEARI Ex IN344 PROTEZIONE E SICUREZZA NEGLI IMPIANTI (sem.)

Prof. Benito CHINAGLIA

DIP, di Fisica

Annuale (ore)

V ANNO

IST, di Fisica Sperimentale

2° PERIODO DIDATTICO

Impegno didattico Lez. Es. Lab. 78 28

INDIRIZZO: Dinamica e Controllo

Settimanale (ore) 6 2

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 fluenza-dose per le diverse radiazioni.
- 2) Cenni di radiobologia. 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 reacotr shielding - Springer Verlag, 1968. J.J. Fitgerald - Applied radiation protection and control. Gordon and breach - 1969.

# **IN349 REATTORI NUCLEARI**

# Prof. Piero RAVETTO

V ANNO

1° PERIODO DIDATTICO
INDIRIZZO: Neutronico -

Dinamica e Controllo

DIP. di Energetica

IST. di Fisica Tecnica e Impianti Nucleari Impegno didattico Lez. Es. Lab.

Annuale (ore) 80 20 -Settimanale (ore) 6 2 -

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

- 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 CONSIGI IATI

Bell, Glasstone - Nuclear Reactor Theory - Van Nostrand Reinh., 1970.

B. Davison - Neutron Transport Theory - Oxford U.P., 1958.

Z. Akcasu - Mathematical Methods in nuclear reactor dynamics - Academic Press, 1971.

V. Boffi - Fisica del reattore nucleare - Patron, 1975, 2 voll.

Appunti del docente.

J.J. Duderstadt, L.J. Hamilton - Nuclear Reactor Analysis - Wiley, 1976.

A. Henry - Nuclear Reactor Analysis - MIT Press, 1975.

# IN360 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

# Prof. Franco ALGOSTINO

IST, di Scienza delle Costruzioni

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.

A. Sassi, P. Bocca, G. Faraggiana - Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni - Levrotto & Bella, Torino.

# IN550 SORGENTI DI RADIAZIONE E MACCHINE ACCELERATRICI Ex IN252 MACCHINE ACCELERATRICI (sem.)

Prof. Diego BARBERO

V ANNO

2° PERIODO DIDATTICO
INDIRIZZO: Físico

DIP. di Fisica

IST. di Fisica Sperimentale

Impegno didattico Lez. Es. Lab. Annuale (ore) 60 10 -

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 macchine; iniezione e cenni alla teoria della cattura. Sincrotone: stabilità di fase; sincrotrone per elettroni: dimensionamento delle componenti; modalità di iniezione ed estrazione; cenni al protosincrotone. Radiazione di sincrotone: 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. Cenno 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

IV ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIBIZZO: Eisico

DIP. di Fisica IST. di Fisica Sperimentale

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

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

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

#### **PROGRAMMA**

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

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

Strumentazione ottica: Radiometria e fotometria; problematica generale dello strumento ottico; Tecnologia dei fenomeni ottici; Sorgenti e rivelatori di luce, compreso occhio umano; Formazione d'immagini; ottica parassiale e suo trattamento matriciale; pupille e finestre; fotometria d'immagine; aberrazioni e loro correzione; La formazione d'immagine come trasferimento d'informazione; funzione di trasferimento ottico; approccio in termini di diffrazione e 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

## IST, di Tecnica delle Costruzioni

V	ANNO
1°	PERIODO DIDATTICO
161	DIRIZZO, Managina

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

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 roccie; 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 yerifica 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 metalaliche - UTET, Torino.

Santarella - Prontuario del c.a. - Hoepli,

# IN413 TECNOLOGIA MECCANICA

Prof. Rosolino IPPOLITO

IV ANNO

2° PERIODO DIDATTICO
INDIRIZZO: Meccanico

DIP. di Ingegneria della Produzione

IST. di Tecnologia Meccanica

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 sistemistica; 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 - II 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

V ANNO

2° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Termotecnico -

Meccanico -

DIP. di Energetica
IST. di Fisica Tecnica e Impianti Nucleari
Impegno didattico Lez. Es. Lab.
Annuale (ore) 74 18 —
Settimanale (ore) 6 2 —

Nozioni base su effetto delle radiazioni sui materiali (con cenni sugli effetti radio-biologici), 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 Ex IN446 TERMOCINETICA

# Prof. Mario MALANDRONE

IV ANNO

1° PERIODO DIDATTICO

INDIRIZZO: Termotecnico

Meccanico -Neutronico DIP. di Energetica

IST. di Fisica Tecnica e Impianti Nucleari Impegno didattico Lez. Es. Lab. Annuale (ore) 80 28 — Settimanale (ore) 6 2 —

Il corso di Termocintica 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 quazioni 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-Stores. 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 convenzione 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.

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

M. Cumo - Elementi di termotecnica del reattore - Ed. CNEN.

# IN573 TERMOIDRAULICA BIFASE DEGLI IMPIANTI NUCLEARI EX IN451 TRASMISSIONE DEL CALORE

Prof. Evasio LAVAGNO

IV ANNO

2° PERIODO DIDATTICO
INDIBIZZO: Termatecnico

DIP, di Energetica

IST. di Fisica Tecnica e Impianti Nucleari 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 (ex Termocinetica).

#### 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

V ANNO

1° PERIODO DIDATTICO
INDIRIZZO: Termotecnico

DIP. di Energetica

IST. di Fisica Tecnica e Impianti Nucleari Impegno didattico Lez. Es. Lab. Annuale (ore) 80 28 4 Settimanale (ore) 6 2

Le finalità del corso sono di approfondimento del funzionamento termico e idraulico dei reattori nucleari, con particolare attenzione per i reattori ed 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 rettori 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 Tecnology: Plant Design Ed. M.I.T. Press, Massachussetts Institute of Tecnology, Cambridge (Massachussetts) and London (England).

# INDICE ALFABETICO DEGLI INSEGNAMENTI

Cod	ce Insegnamento	Docente	Pagina
INO	01 ACQUEDOTTI E FOGNATURE	M. QUAGLIA	137
IN4	95 ACUSTICA APPLICATA	A. SACCHI	138
INO	2 ACUSTICA ARCHITETTONICA (sem.) vedi IN495 ACUSTICA APPLICATA		
INO	O3 AERODINAMICA	F. QUORI	17-339
INO	04 AERODINAMICA II	L. DE SOCIO	18
INO	D5 AERODINAMICA SPERIMENTALE	C. MORTARINO	19
INO	06 AERONAUTICA GENERALE	A. LAUSETTI	20
INO	08 ANALISI DEI MINERALI	E. MATTEUCCI	417
IN4	ANALISI DEI SISTEMI ELETTRICI DI POTENZA	da nominare	279
IN4	7 ANALISI STRUMENTALE E PROVE SUI MATERIALI	da nominare	75
INO	8 ANTENNE	M. OREFICE	207
INO	20 APPARECCHIATURE DI MANOVRA E INTERRUZIONE	G. CANTARELLA	280
INO	19 APPARECCHI ELETTRICI DI COMANDO vedi IN527 MACCHINE ELETTRICHE		
	E APPARECCHI ELETTRICI DI COMANDO		
INO	22 APPLICAZIONI ELETTROMECCANICHE	F. DONATI	281
INO	23 APPLICAZIONI INDUSTRIALI DELL'ELETTROTECNICA	E. GIUFFRIDA	340
IN4	OR APPLICAZIONI MATEMATICHE PER L'ELETTRONICA	da nominare	208
INO	24 ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA	E. INNAURATO	139
INO	26 ARCHITETTURA ED URBANISTICA TECNICHE	A. BASTIANINI	140-341
INO	27 ARCHITETTURA TECNICA	V. BORASI	141
INO	27 ARCHITETTURA TECNICA	P. SCARZELLA	143
INO	29 ARCHITETTURA TECNICA II	M. FIAMENI	144
INO	30 ARTEMINERARIA	S. PELIZZA	418
INO	31 ATTREZZATURE DI PRODUZIONE	A. DE FILIPPI	342
INO	32 AUTOMAZIONE	R. GENESIO	209-282
INO	33 AUTOMAZIONE A FLUIDO E FLUIDICA	G. BELFORTE	343
INO	AUTOMAZIONE DELLE MISURE ELETTRONICHE E TELEMISURE	U. PISANI	210
INO	36 CALCOLATORI E PROGRAMMAZIONE	A. SERRA	211
INO	10 CALCOLO E PROGETTO DI MACCHINE	P.M. CALDERALE	344
INO	1 CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	C. DAGNINO	212-283

Codice	Insegnamento	Docente	Pagina
IN041	CALCOLO NUMERICO E PROGRAMMAZIONE	G. MONEGATO	22-76-145-345-473
IN042	CALCOLO STRUTTURALE DI COMPONENTI NUCLEARI	A. GUGLIOTTA	474
IN043	CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI	R. ZICH	213
IN043	CAMPI ELETTROMAGNETICI E CIRCUITI	V. DANIELE	213
IN044	CATALISI E CATALIZZATORI (sem.)	da nominare	77
IN047	CHIMICA APPLICATA	C. BRISI	78-419-475
IN048	CHIMICA APPLICATA	F. ABBATTISTA	23
IN048	CHIMICA APPLICATA	G. PRADELLI	346
IN049	CHIMICA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI	G.B. SARACCO	79-476
IN050	CHIMICA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI CERAMICI E REFRATTARI	G. ACQUARONE	BURLANDO 80
IN051	CHIMICA FISICA	M. MAJA	81
IN053	CHIMICA INDUSTRIALE	G.B. SARACCO	82
IN052	CHIMICA MACROMOLECOLARE E TECNOLOGIA DEGLI ALTI POLIMERI	A. PRIOLA	83
IN056	CHIMICA ORGANICA	M. PANETTI	84
IN057	CHIMICA ORGANICA (sem.) vedi IN056 CHIMICA ORGANICA		
IN058	CHIMICA TESSILE	F. FERRERO	85
IN059	COLTIVAZIONE DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI vedi IN523 INGEGNERIA		
	DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI		
IN503	COLTIVAZIONE E GESTIONE DELLE CAVE (sem.)	da nominare	420
IN061	COMMUTAZIONE E TRAFFICO TELEFONICO	S. TREVES	214
IN064	COMPLEMENTI DI CAMPI ELETTROMAGNETICI	I. MONTROSSET	215
IN065	COMPLEMENTI DI CONTROLLI AUTOMATICI	M. VALLAURI	216
IN065	COMPLEMENTI DI CONTROLLI AUTOMATICI	A. VAGATI	284
IN069	COMPLEMENTI DI IDRAULICA	G. PEZZOLI	146
IN070	COMPLEMENTI DI IMPIANTI NUCLEARI	G. DEL TIN	477
IN071	COMPLEMENTI DI MATEMATICA	R. ASCOLI	217
IN071	COMPLEMENTI DI MATEMATICA	G. TEPPATI	217
IN072	COMPLEMENTI DI MATEMATICA	P.P. CIVALLERI	24-285
	COMPLEMENTI DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	P. MARRO	147-347
110000000000000000000000000000000000000	COMPLEMENTI DI TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI	P. MAROCCHI	148-348
IN075	COMPLEMENTI DI TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI (sem.) vedi		
	IN504 COMPLEMENTI DI TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI		
IN077	COMPLEMENTI DI TOPOGRAFIA	A.M. DE MICHELI	S 149

Codice	Insegnamento	Docente	Pagina
IN078	COMPONENTI ELETTROMECCANICI	A. VAGATI	286
IN079	COMPONENTI ELETTRONICI	A.M. RIETTO	218
IN079	COMPONENTI ELETTRONICI	G. CONTE	218
IN478	COMUNICAZIONI ELETTRICHE (gen.)	V. CASTELLANI	219
IN479	COMUNICAZIONI ELETTRICHE (spec.)	M. PENT	220
IN081	CONSOLIDAMENTO DI ROCCE E TERRENI (sem.)	G. BARLA	421
IN488	CONTROLLI AUTOMATICI (gen.)	F. FERRARIS	221
IN489		G. MENGA	223
IN082	CONTROLLI AUTOMATICI	L. PIGLIONE	287-478
IN087	CONTROLLO DEI PROCESSI	D. CARLUCCI	224-288
IN089	CONTROLLO OTTIMALE	E. CANUTO	225
IN090	CORROSIONE E PROTEZIONE DEI MATERIALI METALLICI	M. MAJA	86-349
IN091	COSTRUZIONE DI GALLERIE (sem.)	N. INNAURATO	422
IN093	COSTRUZIONE DI MACCHINE	G. CURTI	479
IN492	COSTRUZIONE DI MACCHINE	G. BONGIOVANNI	350
IN493	COSTRUZIONE DI MACCHINE	R. CIUFFI	25
IN095	COSTRUZIONE DI MACCHINE PER L'INDUSTRIA CHIMICA	M. GOLA	87
IN096	COSTRUZIONE DI MATERIALE FERROVIARIO	G. ROCCATI	351
IN097	COSTRUZIONE DI MOTORI PER AEROMOBILI	R. CIUFFI	26
IN101	COSTRUZIONI AERONAUTICHE	P. MORELLI	27
IN103	COSTRUZIONI AERONAUTICHE II	G. SURACE	28
IN104	COSTRUZIONI AUTOMOBILISTICHE	A. MORELLI	352
IN507	COSTRUZIONI BIOMECCANICHE	P.M. CALDERALE	353
IN106	COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI	C. CASTIGLIA	150
IN107	COSTRUZIONI DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI II	C. DE PALMA	152
IN108	COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE	C. ZIMAGLIA	289
IN109	COSTRUZIONI IDRAULICHE	L. BUTERA	153
IN112	DINAMICA DELLE STRUTTURE E DEI TERRENI vedi IN524 INGEGNERIA		
	SISMICA E PROBLEMI DINAMICI SPECIALI		
	DINAMICA DEL VOLO	P. MORELLI	29
IN114		M. DE SALVE	480
IN509		L. ORUSA	30-154-290
IN120	DISEGNO TECNICO	G. CURTI	423

Codice	Insegnamento	Docente	Pagina
IN121	DISPOSITIVI ELETTRONICI ALLO STATO SOLIDO	C. NALDI	226
IN122	DOCUMENTAZIONE ARCHITETTONICA	R. NELVA	155
IN510	ECONOMIA DEI SISTEMI AEROSPAZIALI	G. GUERRA	31
IN 123	ECONOMIA DELLE AZIENDE MINERARIE vedi IN569 TECNOLOGIE SPE-		
	CIALI MINERARIE		
IN124	ECONOMIA DEL TRASPORTO AEREO vedi IN510 ECONOMIA DEI SISTEMI		
	AEROSPAZIALI		
IN127	ECONOMIA E TECNICA AZIENDALE	N. DELLE PIANE	88-291-354
IN127	ECONOMIA E TECNICA AZIENDALE	A. CARIDI	88-291-354
IN132	ELEMENTI DI ELETTRONICA	M. GIORDANA	355
IN 135	ELEMENTI DI PROGRAMMAZIONE (sem.) vedi IN565 TECNICA DELLA		
	PROGRAMMAZIONE		
IN 136	ELEMENTI DI STATISTICA (sem.) (per elettronici) vedi IN565 TECNICA DELLA		
	PROGRAMMAZIONE		
IN136	ELEMENTI DI STATISTICA (sem.) (per civili) vedi IN525 ISTITUZIONI DI		
	STATISTICA		
IN137	ELETTROCHIMICA	P. SPINELLI	89
IN138	ELETTROMETALLURGIA	da nominare	90
IN139	ELETTRONICA APPLICATA	U. PISANI	292
IN140	ELETTRONICA APPLICATA I	M. GIORDANA	228
IN140	ELETTRONICA APPLICATA I	F. MUSSINO	228
IN141	ELETTRONICA APPLICATA II	V. POZZOLO	229
IN141	ELETTRONICA APPLICATA II	D. BIEY	229
IN143	ELETTRONICA APPLICATA ALL'AERONAUTICA	A. ARCIDIACONO	32
IN 144	ELETTRONICA INDUSTRIALE vedi IN528 MACCHINE ELETTRICHE STA-		
	TICHE		
	ELETTRONICA NUCLEARE	M. VALLAURI	481
IN146	ELETTRONICA PER TELECOMUNICAZIONI	D. DEL CORSO	230
	ELETTROTECNICA	M. TARTAGLIA	156
IN482		E. ARRI	33-91
	ELETTROTECNICA	E. BARBISIO	356
	ELETTROTECNICA	V. DANIELE	424-482
IN154	ELETTROTECNICA II	R. POME'	293

Codice	Insegnamento	Docente	Pagina
IN155	ELICHE ED ELICOTTERI	S. D'ANGELO	34
IN 156	EQUIPAGGIAMENTI ELETTRICI DELL'AUTOVEICOLO (sem.) vedi IN558 SI-		
	STEMI ELETTRICI ED ELETTRONICI DELL'AUTOVEICOLO		
IN159	ESTIMO	da nominare	157
IN167	FISICA ATOMICA	da nominare	231-483
IN168	FISICA DEI FLUIDI E MAGNETOFLUIDODINAMICA	M. GERMANO	35
IN170	FISICA DELLO STATO SOLIDO	da nominare	232
IN171	FISICA DEL REATTORE NUCLEARE	S.E. CORNO	484
IN172	FISICA MATEMATICA	G. RIZZI	233-486
IN173	FISICA NUCLEARE	B. MINETTI	487
IN174	FISICA TECNICA	P. GREGORIO	36-489
IN174	FISICA TECNICA	V. FERRO	92-425
IN175	FISICA TECNICA	C. BOFFA	158
IN176	FISICA TECNICA	C. LOMBARDI	234
IN177	FISICA TECNICA	A. SACCHI	294
IN178	FISICA TECNICA	P. ANGLESIO	357
IN178	FISICA TECNICA	M. CALI'	. 358
IN513	FLUIDODINAMICA	C. CANCELLI	359
IN 180	FLUIDODINAMICA BIOMEDICA (sem.) vedi IN532 MECCANICA BIOMEDICA		
	APPLICATA		
	FLUIDODINAMICA DELLE TURBOMACCHINE	L. ZANNETTI	37-360
	FOTOGRAMMETRIA	B. ASTORI	159
	FOTOGRAMMETRIA APPLICATA	C. LESCA	160
	GASDINAMICA	G. JARRE	38
IN185	GASDINAMICA II	M. ONORATO	40
IN186	GENERATORI DI CALORE	A.M. BARBERO	361
IN190	GEOFISICA APPLICATA	E. ARMANDO	426
IN 192	GEOIDROLOGIA (sem.) vedi IN517 IDROGEOLOGIA APPLICATA		
IN514	GEOLOGIA APPLICATA	M. CIVITA	161
IN 194	GEOLOGIA APPLICATA CON ELEMENTI DI MINERAOLOGIA E LITOLOGIA		
101100	vedi IN514 GEOLOGIA APPLICATA	M IAMIOUKOWSK	100 107
	GEOTECNICA	M. JAMIOLKOWSKI	163-427
111199	GEOTECNICA II	E. PASQUALINI	164-428

Codice	Insegnamento	Docente	Pagina
IN203	GIACIMENTI MINERARI	S. ZUCCHETTI	429
IN204	IDRAULICA	G. PEZZOLI	165
IN205	IDRAULICA	L. BUTERA	362
IN206	IDRAULICA	E. BUFFA	295-430
IN517	IDROGEOLOGIA APPLICATA	M. CIVITA	431
IN207	IDROLOGIA TECNICA	S.T. SORDO	166-433
IN208	IGIENE E SICUREZZA DEL LAVORO vedi IN566 TECNICA DELLA SICUREZ-		
	ZA AMBIENTALE		
IN518	ILLUMINOTECNICA	C. BOFFA	167
IN209	ILLUMINOTECNICA (sem.) vedi IN518 ILLUMINOTECNICA		
IN210	IMPIANTI CHIMICI	A. GIANETTO	93
IN212	IMPIANTI CHIMICI II	R. CONTI	94
IN213	IMPIANTI DI BORDO PER AEROMOBILI	S. CHIESA	41
IN216	IMPIANTI ELETTRICI	R. POME'	296
IN218	IMPIANTI ELETTRICI II	B. COLOMBO	297
IN219	IMPIANTI IDROELETTRICI	P. MOSCA	298
IN220	IMPIANTI MECCANICI	A. MONTE	42-95-363
IN220	IMPIANTI MECCANICI	G. BAUDUCCO	42-96-364
IN221	IMPIANTI MECCANICI II	A. CHIARAVIGLIO	365
IN222	IMPIANTI MINERALURGICI (sem.)	C. CLERICI	434
IN223	IMPIANTI MINERARI	G. GECCHELE	435
IN224	IMPIANTI MINERARI II (sem.)	da nominare	436
IN226	IMPIANTI NUCLEARI	C. ARNEODO	490
IN227	IMPIANTI NUCLEO E TERMOELETTRICI	G. BROSSA	299
IN228	IMPIANTI SPECIALI IDRAULICI	M. SCHIARA	168
IN230	IMPIANTI SPECIALI TERMICI vedi IN521 IMPIANTI TERMOTECNICI		
IN231	IMPIANTI TERMICI PER L'EDILIZIA vedi IN520 IMPIANTI TERMOTECNICI		
IN520	IMPIANTI TERMOTECNICI	G. SAGGESE	169
IN521	IMPIANTI TERMOTECNICI	V. FERRO	366
	INDUSTRIALIZZAZIONE E UNIFICAZIONE EDILIZIA	da nominare	171
	INGEGNERIA DEI GIACIMENTI DI IDROCARBURI	A. DI MOLFETTA	437
A1070000	INGEGNERIA DELL'ANTI-INQUINAMENTO	da nominare	97
IN524	INGEGNERIA SISMICA E PROBLEMI DINAMICI SPECIALI	G.M. BO	172

C	odice	Insegnamento	Docente	Pagina
11	N239	ISTITUZIONI DI ELETTROMECCANICA	R. NAPOLI	300
11	V525	ISTITUZIONI DI STATISTICA	F. IANNELLI	173
11	N526	LAVORAZIONE PER DEFORMAZIONE PLASTICA	G. PEROTTI	367
11	V240	LEGISLAZIONE MINERARIA E SICUREZZA DEL LAVORO (sem.) vedi IN556		
		SICUREZZA E NORMATIVA NELL'INDUSTRIA ESTRATTIVA (sem.)	The state of the s	
11	V245	LITOLOGIA E GEOLOGIA APPLICATE	S. ZUCCHETTI	439
11	V246	MACCHINE	G. COLASURDO	43
11	V247	MACCHINE	M. ANDRIANO	98-440
	THE REAL PROPERTY.		P. CAMPANARO	301-491
			A.E. CATANIA	368
		MACCHINE I (corso unico per meccanici)	M. PANDOLFI	369
	V251	MACCHINE II	E. ANTONELLI	370
		MACCHINE ACCELERATRICI (sem.) vedi IN550 SORGENTI DI RADIAZIONE	L. ANTONELLI	
	1252	E MACCHINE ACCELERATRICI		
11	V254		da nominare	235
		MACCHINE ELETTRICHE	P. FERRARIS	302
11	N527	MACCHINE ELETTRICHE E APPARECCHI ELETTRICI DI COMANDO	M. LAZZARI	304
11	V528	MACCHINE ELETTRICHE STATICHE	F. VILLATA	305
11	N257	MATEMATICA APPLICATA	N. BELLOMO	371
11	V258	MATERIALI PER L'ELETTRONICA vedi IN079 COMPONENTI ELETTRONICI		
	V259		P. APPENDINO	306
. 11	V260	MATERIE GIURIDICHE vedi IN509 DISCIPLINA GIURIDICA DELLE ATTI-		
		VITA' TECNICO-INGEGNERISTICHE		
	V262	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	F. VATTA	44
	V263		G. BELFORTE	00 007 072 111
		MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	A. ROMITI	99-307-372-441
1000			G. RICCI	174
	V264	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE E MACCHINE	G. CHIOCCHIA	.174
20.00	V265	MECCANICA BIOMEDICA (sem.) vedi IN507 COSTRUZIONI BIOMECCANICHE	5 01140110TTI	
	V532	MECCANICA BIOMEDICA APPLICATA	F. QUAGLIOTTI	373
	V266	MECCANICA DEI FLUIDI vedi IN513 FLUIDODINAMICA	C PALDINI	442
H	1533	MECCANICA DEI FLUIDI NEL SOTTOSUOLO	G. BALDINI	442

Codice	Insegnamento	Docente	Pagina
IN267	MECCANICA DEI FLUIDI NEI MEZZI POROSI vedi IN533 MECCANICA DEI		
	FLUIDI NEL SOTTOSUOLO		
IN269	MECCANICA DELL'AUTOVEICOLO	G. GENTA	374
IN270	MECCANICA DELLE MACCHINE	G. JACAZIO	492
IN271	MECCANICA DELLE MACCHINE E MACCHINE	da nominare	236
IN272	MECCANICA DELLE ROCCE	G. BARLA	175-443
IN273	MECCANICA DELLE VIBRAZIONI	S. NOCILLA	45-375
IN275	MECCANICA PER L'INGEGNERIA CHIMICA .	B. PIOMBO	100
IN281	MECCANICA STATISTICA APPLICATA	M. RASETTI	493
IN535	MECCANICA SUPERIORE PER INGEGNERI	da nominare	376
IN283	METALLURGIA E METALLOGRAFIA	A. BURDESE	101
IN284	METALLURGIA FISICA	P. APPENDINO	102-377
IN536	METEOROLOGIA (sem.)	A. LAUSETTI	46
IN285	METEOROLOGIA E NAVIGAZIONE AEREA vedi IN536 METEOROLOGIA		
	(sem.) e IN539 NAVIGAZIONE AEREA (sem.)		
IN290	METROLOGIA DEL TEMPO E DELLA FREQUENZA	C. EGIDI	237
IN291	METROLOGIA GENERALE E MISURE MECCANICHE	A. BRAY	378
IN294	MINERALOGIA E LITOLOGIA	G. MAGNANO	444
IN295	MISURE CHIMICHE E REGOLAZIONI	M. PANETTI	103
IN296	MISURE ELETTRICHE	S. SARTORI	238
IN296	MISURE ELETTRICHE	I. GORINI	238
IN297	MISURE ELETTRICHE	A. ABETE	308
IN300	MISURE ELETTRONICHE	G. GREGORETTI	239
IN300	MISURE ELETTRONICHE	S. LESCHIUTTA	239
IN301	MISURE NUCLEARI	F. DEMICHELIS	494
IN302	MISURE SULLE MACCHINE E SUGLI IMPIANTI ELETTRICI	A. COFFANO	309
IN303	MISURE TERMICHE E REGOLAZIONI	L. CROVINI	104-379
IN306	MODELLISTICA E IDENTIFICAZIONE	V. MAURO	240-310
IN308	MOTORI PER AEROMOBILI	G. BUSSI	47
IN309	MOTORI TERMICI PER TRAZIONE	C.V. FERRARO	380
IN539	NAVIGAZIONE AEREA (sem.)	A. LAUSETTI	48
IN311	OLEODINAMICA E PNEUMATICA	G.L. ZAROTTI	381
IN314	ORGANIZZAZIONE DELLE MACCHINE NUMERICHE	M. MEZZALAMA	241

	Codice	Insegnamento	Docente	Pagina
	IN319	PETROGRAFIA	R. SANDRONE	445
1	IN320	PETROLCHIMICA	G. GOZZELINO	105
	IN541	PREFABBRICAZIONE STRUTTURALE	P. PALUMBO	176
	IN324	PREFABBRICAZIONE STRUTTURALE (sem.) vedi IN541 PREFABBRICA-		
		ZIONE STRUTTURALE		
	IN325	PREPARAZIONE DEI MINERALI	E. OCCELLA	446
	IN326	PRINCIPI DI GEOMECCANICA	L. STRAGIOTTI	447
	IN327	PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA	da nominare	106
	IN524	PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II	G.C. BALDI	107
	IN327	PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA (a.a. 1981/82) vedi IN542 PRINCIPI DI		
		INGEGNERIA CHIMICA II		
	IN543	PROCESSI BIOLOGICI INDUSTRIALI	G. GENON	108
	IN328	PROCESSI BIOLOGICI INDUSTRIALI (sem.) vedi IN543 PROCESSI BIOLOGICI		
		INDUSTRIALI		
	IN544	PROCESSI MINERALURGICI (sem.)	da nominare	109-448
	IN330	PRODUZIONE DI CAMPO E TRASPORTO DEGLI IDROCARBURI	R. VARVELLI	449
	IN546	PROGETTO DELLE CARROZZERIE	A. MORELLI	382
	IN334	PROGETTO DELLE CARROZZERIE (sem.) vedi IN546 PROGETTO DELLE		
		CARROZZERIE		
	IN335	PROGETTO DI AEROMOBILI	E. ANTONA	49
	IN336	PROGETTO DI AEROMOBILI II	G. GUERRA	51
	IN337	PROGETTO DI APPARECCHIATURE CHIMICHE	U. FASOLI	110
	IN341	PROPAGAZIONE DI ONDE ELETTROMAGNETICHE	G.E. PERONA	242
	IN549	PROSPEZIONE GEOFISICA	da nominare	450
	IN342	PROSPEZIONE GEOFISICA (sem.) vedi IN549 PROSPEZIONE GEOFISICA		
	IN343	PROSPEZIONE GEOMINERARIA	P. NATALE	451
	IN550	PROTEZIONE E SICUREZZA NEGLI IMPIANTI NUCLEARI	B. CHINAGLIA	496
	IN344	PROTEZIONE E SICUREZZA NEGLI IMPIANTI (sem.) vedi IN550 PROTEZIO-		
		NE E SICUREZZA NEGLI IMPIANTI NUCLEARI		
		RADIOTECNICA	E. NANO	243
	IN551		da nominare	111
		REATTORI NUCLEARI	P. RAVETTO	497
	IN552	REGOLAZIONI AUTOMATICHE	A. VILLA	52-383

Codice	Insegnamento	Docente	Pagina
IN351	REGOLAZIONI AUTOMATICHE (sem.) vedi IN552 REGOLAZIONI AUTO-		
	MATICHE		
IN352	REOLOGIA DEI SISTEMI OMOGENEI ED ETEROGENEI (sem.) vedi PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA		
INIZEE	RICERCA OPERATIVA	A.M. OSTANELLO	53-177-244-311
IN355 IN358	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	E. LEPORATI	53
IN359	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	F. LEVI	178
IN359	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	P. MARRO	178
		F. ALGOSTINO	112-312-452-498
IN360		U. ROSSETTI	245
IN361	SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	A.M. SASSI-PERINO	
IN362		G. GECCHELE	453
IN556			
IN557	SICUREZZA STRUTTURALE	E. LEPORATI	180
	SICUREZZA STRUTTURALE (sem.) vedi IN557 SICUREZZA STRUTTURALE	A BURDECE	110,000
IN365	SIDERURGIA	A. BURDESE	113-386
IN367	SINTESI DELLE RETI ELETTRICHE	C. BECCARI	246
IN490	SISTEMI DI ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE	G. REVIGLIO	247-313
IN491	SISTEMI DI ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE (spec.)	A.R. MEO	249
IN369	SISTEMI DI ELABORAZIONE DELL'INFORMAZIONE II	E. PICCOLO	250
IN370	SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI	R. DOGLIOTTI	251
IN558	SISTEMI ELETTRICI ED ELETTRONICI DELL'AUTOVEICOLO	E. GIUFFRIDA	387
	SJSTEMI ELETTRICI SPECIALI	G. PESSINA	315
The state of the s	SISTEMI OPERATIVI	P. LAFACE	252
IN550		D. BARBERO	499
IN374		G. CIAMPOLINI	54
	SPERIMENTAZIONE E AFFIDABILITA' DELL'AUTOVEICOLO	P.F. RIVOLO	388
IN561		E. ANTONELLI	389
IN376	SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE A FLUIDO (sem.) vedi IN561 SPERI- MENTAZIONE SULLE MACCHINE A FLUIDO		
IN562	SPERIMENTAZIONE SU MATERIALI E STRUTTURE	P.G. DEBERNARDI	182
IN377	SPERIMENTAZIONE SU MATERIALI E STRUTTURE (sem.) vedi IN562 SPERI- MENTAZIONE SU MATERIALI E STRUTTURE		
IN380	STRUMENTAZIONE FISICA	L. GONELLA	500
114000	THOME THOUGH	L. GOIVELEA	500

Codice	Insegnamento	Docente	Pagina
IN381	STRUMENTAZIONE PER BIOINGEGNERIA	R. MERLETTI	253-390
200000	STRUMENTAZIONE PER L'AUTOMAZIONE	P. SOARDO	254-316
The same of the sa	STRUMENTI DI BORDO	L. BORELLO	55
	STRUTTURE AEROMISSILISTICHE	E. ANTONA	56
IN385		A. LAURENTINI	255
IN386	TECNICA DEGLI ENDOREATTORI	A. ROBOTTI	57
IN388	TECNICA DEGLI SCAVI E DEI SONDAGGI	R. MANCINI	454
IN389	TECNICA DEI CANTIERI	G. CAPOSIO	183
IN391	TECNICA DEI SISTEMI NUMERICI (sem.)	E. PICCOLO	391
IN563	TECNICA DEI SONDAGGI PETROLIFERI	G. BALDINI	455
IN564	TECNICA DEL FREDDO	P. ANGLESIO	392
IN392	TECNICA DELLA PERFORAZIONE PETROLIFERA vedi IN563 TECNICA		
	DEI SONDAGGI PETROLIFERI		
IN565	TECNICA DELLA PROGRAMMAZIONE	P. LEPORA	317
IN393	TECNICA DELLA REGOLAZIONE	G. BELFORTE	256
IN566	TECNICA DELLA SICUREZZA AMBIENTALE	C. MORTARINO	393
IN394	TECNICA DELLA SICUREZZA NELLE APPLICAZIONI ELETTRICHE	V. CARRESCIA	318
IN397	TECNICA DELLE BASSE TEMPERATURE vedi IN564 TECNICA DEL FREDDO		
IN398	TECNICA DELLE COSTRUZIONI I	L. GOFFI	184
IN401	TECNICA DELLE COSTRUZIONI II	G. GUARNIERI	185
IN402	TECNICA DELLE COSTRUZIONI INDUSTRIALI	G.M. BO	114-501
IN402	TECNICA DELLE COSTRUZIONI INDUSTRIALI	C.E. CALLARI	394
IN403	TECNICA DELLE IPERFREQUENZE	G.P. BAVA	257
IN567	TECNICA DEL TRAFFICO E DELLA CIRCOLAZIONE	da nominare	186-395
IN405	TECNICA DEL TRAFFICO E DELLA CIRFOLAZIONE (sem.) vedi IN567 TEC-		
	NICA DEL TRAFFICO E DELLA CIRCOLAZIONE		
IN407	TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI	A. RUSSO FRATTASI	187-396
IN409	TECNICA IMPULSIVA	E. NANO	258
	TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA	M. LUCCO BORLERA	188
	TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA	C. GIANOGLIO	188
A Partie America	TECNOLOGIA DEI MATERIALI METALLICI	I. AMATO	397
IN412	TECNOLOGIA DELLE RAPPRESENTAZIONI vedi IN568 TECNOLOGIA, RAP-		

PRESENTAZIONI PROGETTUALI E PRODUZIONE EDILIZIA

Codice	Insegnamento	Docente	Pagina
IN413	TECNOLOGIA MECCANICA	R. IPPOLITO	58-319-502
IN414	TECNOLOGIA MECCANICA	G.F. MICHELETTI	398
IN414	TECNOLOGIA MECCANICA	R. LEVI	399
IN414	TECNOLOGIA MECCANICA	S. ROSSETTO	400
IN414	TECNOLOGIA MECCANICA	G. PEROTTI	401
IN568	TECNOLOGIA, RAPPRESENTAZIONI PROGETTUALI E PRODUZIONE EDILIZIA	L. MORRA	189
IN416	TECNOLOGIE AERONAUTICHE	M. CLERICO	59
IN417	TECNOLOGIE CHIMICHE INDUSTRIALI	N. PICCININI	115
IN420	TECNOLOGIE DEI POLIMERI E DELLE MATERIE PLASTICHE (sem.) vedi		
	IN502 CHIMICA MACROMOLECOLARE E TECNOLOGIA DEGLI ALTI PO-		
	LIMERI		
	TECNOLOGIE ELETTROCHIMICHE	B. DE BENEDETTI	116
	PECNOLOGIE ELETTRONICHE	V. GHERGIA	259
1000	TECNOLOGIE METALLURGICHE	M. LUCCO BORLERA	117-457
	TECNOLOGIE NUCLEARI	C. MERLINI	503
IN427		da nominare	118-402
IN569	TECNOLOGIE SPECIALI MINERARIE	G. BADINO	458
IN429		F. TESTORE	119
	TEORIA DEI SEGNALI	M. AJMONE MARSAN	260
	TEORIA DEI SISTEMI	B. BONA	261
	TEORIA DEI SISTEMI	M. MILANESE	261
IN440		C. BECCARI	263
IN440		M. BIEY	263
IN443		A. GIANETTO	120
	TEORIA E PROGETTO DEI CIRCUITI LOGICI	L. GILLI	264
	TEORIA STATISTICA DELL'INFORMAZIONE	M. ELIA	265
IN 446	TERMOCINETICA vedi IN572 TERMOCINETICA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI		
IN572	TERMOCINETICA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI	M. MALANDRONE	504
IN573		E. LAVAGNO	505
	TERMOTECNICA DEL REATTORE	B. PANELLA	506
IN449		G. INGHILLERI	190
IN449	TOPOGRAFIA	S. DEQUAL	190

Codice	Insegnamento	Docente	Pagina
IN449 IN450 IN451	TOPOGRAFIA TOPOGRAFIA TRASMISSIONE DEL CALORE vedi IN573 TERMOIDRAULICA BIFASE DEGLI IMPIANTI NUCLEARI	C. SENA S. DEQUAL	191 459
IN452 IN453 IN455	TRASMISSIONE DI DATI TRASMISSIONE TELEFONICA URBANISTICA	S. BENEDETTO E. BIGLIERI F. MELLANO	266 267 192

# INDICE ALFABETICO DEI DOCENTI

ABBATTTISTA Fedele	23	BUSSI Giuseppe	47
ABETE Andrea	308	BUTERA Luigi	153-362
ACQUARONE-BURLAND	00	CALDERALE Pasquale Mario	344-353
Giuseppina	80	CALI' Michele	358
ALGOSTINO Franco	12-312-452-498	CALLARI Carlo Emanuele	394
AMATO Ignazio	397	CAMPANARO Paolo	301-491
ANDRIANO Matteo	38-440	CANCELLI Claudio	359
ANGLESIO Paolo	357-392	CANTARELLA Giovanni	280
ANTONA Ettore	49-56	CANUTO Enrico	225
ANTONELLI Enrico	370-389	CAPOSIO Guido	183
APPENDINO Pietro	102-306-377	CARIDI Antonino	88-291-354
ARCIDIACONO Alfio	32	CARLUCCI Donato	224-288
ARMANDO Ernesto	426	CARRESCIA Vito	318
ARNEODO Carlo A.	490	CASTELLANI Valentino	219
ARRI Ernesto	33-91-356	CASTIGLIA Cesare	150
ASCOLI Renato	217	CATANIA Andrea Emilio	368
ASTORI Bruno	159	CHIARAVIGLIO Alberto	365
BADINO Giovanni	458	CHIESA Sergio	41
BALDI Giancarlo	107	CHINAGLIA Benito	496
BALDINI Giovanni	442-455	CHIOCCHIA Gianfranco	174
BARBERO Antonio M.	361	CIAMPOLINI Giulio	54
BARBERO Diego	499	CIUFFI Renzo	25-26
BARBISIO Edoardo	356	CIVALLERI Pier Paolo	24-285
BARLA Giovanni	175-421-443	CIVITA Massimo	161-431
BASTIANINI Attilio	140-341	CLERICI Carlo	434
BAUDUCCO Giovanni	42-96-364	CLERICO Margherita	59
BAVA Gian Paolo	257	COFFANO Antonio	309
BECCARI Claudio	246-263	COLASURDO Guido	43
BELFORTE Guido 99-3	807-343-372-441	COLOMBO Bassano	297
BELFORTE Gustavo	256	CONTE Gianni	218
BELLOMO Nicola	371	CONTI Romualdo	94
BENEDETTO Sergio	266	CORNO Silvio Edoardo	484
BIEY Domenico	229	CROVINI Luigi	104-379
BIEY Mario	263	CURTI Graziano	423-479
BIGLIERI Ezio	267	DAGNINO Catterina	212-283
BO Gian Mario	114-172-501	D'ANGELO Salvatore	34
BOFFA Cesare	158-167	DANIELE Vito	213-424-482
BONA Basilio	261	DE BENEDETTI Bruno	116
BONGIOVANNI Guido	350	DEBERNARDI Pier Giorgio	182
BORASI Vincenzo	141	DE FILIPPI Augusto	342
BORELLO Lorenzo	55	DEL CORSO Dante	230
BRAY Athos	378	DELLEPIANE Nicola	88-291-354
BRISI Cesare	78-419-475	DEL TIN Giovanni	477
BROSSA Giandomenico	299	DE MICHELIS Anna Maria	149
BUFFA Enzo	295-430	DEMICHELIS Francesca	494
BURDESE Aurelio	101-113-386	DE PALMA Carlo	152

DEQUAL Sergio	190-459	LEPORA Paolo	317
DE SALVE Mario	480	LEPORATI Ezio	53-180
DE SOCIO Luciano	18	LESCA Corrado	160
DI MOLFETTA Antonio	437	LESCHIUTTA Sigfrido	239
DOGLIOTTI Renato	251	LEVI Franco	178
DONATI Francesco	281	LEVI Raffaello	399
ELIA Michele	265	LOMBARDI Carla	234
EGIDI Claudio	237	LUCCO BORLERA Maria	117-188-457
FASOLI Ugo	110	MAGNANO Giorgio	444
FERRARIS Franco	221	MAJA Mario	81-86-349
FERRARIS Paolo	302	MALANDRONE Mario	509
FERRARO Carlo Vincenzo	380	MANCINI Renato	454
FERRERO Franco	85	MAROCCHI Dante	148-348
FERRO Vincenzo	92-366-425	MARRO Piero	147-178-347
FIAMENI Mario	144	MARSAN Marco Ajmone	260
GECCHELE Giulio	435-453	MATTEUCCI Elio	417
GENESIO Roberto	209-282	MAURO Vito	240-310
GENON Giuseppe	108	MELLANO Franco	192
GENTA Giancarlo	374	MENGA Giuseppe	223
GERMANO Massimo	35	MEO Angelo Raffaele	249
GHERGIA Vittorio	259	MERLETTI Roberto	253-390
GIANETTO Agostino	93-120	MERLINI Cesare	503
GIANOGLIO Carlo	188	MEZZALAMA Marco	241
GILLI Luigi	264	MICHELETTI Gian Federico	398
GIORDANA Marco	228-355	MILANESE Mario	261
GIUFFRIDA Emilio	340-387	MINETTI Bruno	487
GOFFI Luigi	184	MONEGATO Giovanni 22-76	3-145-345-473
GOLA Muzio	87	MONTE Armando	95-42-363
GONELLA Luigi	500	MONTROSSET Ivo	215
GORINI Italo	238	MORELLI Alberto	352-382
GOZZELLINO Giuseppe	105	MORELLI Piero	27-29
GREGORETTI Giulio	239	MORRA Luigi	189
GREGORIO Paolo	36-489	MORTARINO Carlo	19-393
GUARNIERI Giuseppe	185	MOSCA Paolo	298
GUERRA Gianni	31-51	MUSSINO Franco	228
GUGLIOTTA Antonio	474	NALDI Carlo	226
IANNELLI Francesco	173	NANO Ermanno	243-258
INGHILLERI Giuseppe	190	NAPOLI Roberto	300
INNAURATO Ennio	139	NATALE Pietro	451
INNAURATO Nicola	422	NELVA Riccardo	155
IPPOLITO Rosolino	58-319-502	NOCILLA Silvio	45-375
JACAZIO Giovanni	492	OCCELLA Enea	446
JAMIOLKOWSKI Michele	163-427	ONORATO Michele	40
JARRE Giovanni	38	OREFICE Mario	207
LAFACE Piero	252	ORUSA Luciano	30-154-290
LAURENTINI Aldo	255	OSTANELLO	
LAUSETTI Attilio	20-46-48		7-244-311-384
LAVAGNO Evasio	505	PALUMBO Piero	176
LAZZARI Mario	304	PANDOLFI Maurizio	369

DANIELLA D	F00	POSSETTO Service	400
PANELLA Bruno	506	ROSSETTO Sergio	400
PANETTI Maurizio	84-103	RUSSO FRATTASI Alberto	187-396
PASQUALINI Erio	164-428	SACCHI Alfredo	138-294
PELIZZA Sebastiano	418	SAGGESE Giovanni	169
PENT Mario	220	SANDRONE Riccardo	445
PERONA Giovanni Emilio		SARACCO Giovanni B.	79-82-476
PEROTTI Giovanni	367-401	SARTORI Sergio	238
PESSINA Gaetano	315	SASSI PERINO Angiola Maria	385
PEZZOLI Giannantonio	146-165	SCARZELLA Paolo	143
PICCININI Norberto	115	SCHIARA Marcello	168
PICCOLO Elio	369-391	SENA Carmelo	191
PIGLIONE Luigi	287-478	SERRA Angelo	211
PIOMBO Bruno	100	SOARDO Paolo	254-316
PISANI Umberto	210-292	SORDO Sebastiano Teresio	166-433
POME' Roberto	293-296	SPINELLI Paolo	89
POZZOLO Vincenzo	229	STRAGIOTTI Lelio	447
PRADELLI Giorgio	346	SURACE Giuseppe	28
PRIOLA Aldo	83	TARTAGLIA Michele	156
QUAGLIA Mario	137	TEPPATI Giancarlo	217
QUAGLIOTTI Fulvia	373	TESTORE Francantonio	119
QUORI Fiorenzo	17-339	TREVES Sergio	214
RASETTI Mario	493	VAGATI Alfredo	284-286
RAVETTO Pietro	497	VALLAURI Maurizio	216-481
REVIGLIO Giuseppe	247-313	VARVELLI Riccardo	449
RICCI Giuseppe	174	VATTA Furio	44
RIETTO Anna Maria	218	VILLA Agostino	52-383
RIVOLO Pier Franco	388	VILLATA Franco	305
RIZZI Guido	233-486	ZANNETTI Luca	37-360
ROBOTTI Aurelio	57	ZAROTTI Gian Luca	381
ROCCATI Giovanni	351	ZICH Rodolfo	213
ROMITI Ario	99-307-372-441	ZIMAGLIA Carlo	289
ROSSETTI Ugo	245	ZUCCHETTI Stefano	429-439