



SOMMARIO

**POLITECNICO  
DI TORINO**

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE

PROGRAMMI DEGLI INSEGNAMENTI

PROGRAMMI DELLE DISCIPLINE DELLE SCIENZE CIVILI

INDICE ALFABETICO PER INSEGNAMENTI

# **INGEGNERIA NUCLEARE**

Guida  
ai programmi  
dei corsi  
1999/2000

## INTRODUZIONE ALLA GUIDA AI PROGRAMMI

Lo scopo fondamentale del presente opuscolo è quello di orientare gli studenti nella scelta dei piani di studio. Nella guida sono contenuti i programmi dei corsi obbligatori e facoltativi per permettere agli studenti di poter decidere con chiarezza anno per anno come adeguare le scelte del piano di studio.

Le guide ai programmi dell'anno 1999/2000 introducono il valore in *crediti* e l'articolazione in *moduli* di quasi tutti i corsi; queste novità sono il primo passo verso il cambiamento del sistema universitario italiano che adeguerà i propri percorsi formativi a quanto concordato a livello europeo.

Si consiglia la lettura del capitolo "*l'università sta cambiando*" pubblicato sul Manifesto degli Studi, ove sono riportate tutte le informazioni relative alla trasformazione dei corsi universitari.

### ***Cosa sono i crediti***

Per gli studi politecnici un credito didattico corrisponderà, per un allievo di medie capacità, a circa trenta ore di attività didattica comprensive delle ore di lezione, esercitazione, laboratorio e studio individuale. L'indicazione di massima è che per conseguire il titolo di I livello (attuale diploma universitario) occorrerà acquisire circa 180 crediti e che per il titolo di II livello (attuale laurea) ne occorreranno circa 300, tenendo conto che anche la preparazione e la discussione della tesi costituirà un valore in crediti.

Il parametro di riferimento è quello di acquisire circa sessanta crediti annuali.

### ***Cosa sono i moduli didattici***

Nel nuovo sistema i moduli didattici rappresenteranno per molti degli attuali corsi una suddivisione del programma precedente, quindi aumenterà la possibilità di combinare in modo più articolato le diverse materie.

Supponendo che un attuale corso sia suddiviso in tre moduli, in molti casi sarà sufficiente scegliere solo un modulo o due a secondo del percorso scelto; vi saranno moduli obbligatori e moduli facoltativi, e saranno previste precedenzae.

I moduli indicati in questa guida rappresentano la prima fase di trasformazione della didattica ma non sono ancora validi come singoli moduli didattici ai fini della predisposizione del piano di studio.

### PROFILO PROFESSIONALE

La laurea in Ingegneria nucleare è stata istituita con riferimento diretto alle applicazioni industriali e alla ricerca scientifica applicata dei processi nucleari, e in particolare alla produzione di energia ottenuta con reazioni nucleari di fissione o di fusione, nonché alle applicazioni delle radiazioni al settore biomedico e diagnostico industriale. I complessi fenomeni fisici legati alle reazioni nucleari richiedono sistemi avanzati dal punto di vista ingegneristico per essere sfruttati in modo sicuro ed economicamente competitivo. Pertanto, la formazione dell'ingegnere nucleare richiede la conoscenza approfondita di numerose discipline, dalla matematica, dalla fisica e dalla scienza dei materiali, alla neutronica, alla termoidraulica e termomeccanica, alla progettazione di componenti e impianti, alla sicurezza e affidabilità di sistemi complessi.

Nell'ambito del settore industriale a cui appartiene, il Corso di laurea in Ingegneria nucleare si caratterizza quindi per una spiccata interdisciplinarietà e per l'enfasi posta su metodologie e tecniche sofisticate. L'area culturale dell'ingegneria nucleare è inoltre in profonda trasformazione e contraddistinta da continue innovazioni tecnologiche e di obiettivi: si pensi ai complessi problemi fisici e ingegneristici dei reattori a fusione e dei reattori nucleari a fissione a maggiore sicurezza, sui quali viene svolta un'intensa attività di ricerca a livello internazionale. Si richiede perciò all'ingegnere nucleare anche una buona propensione alla ricerca e allo sviluppo di soluzioni innovative.

Nel bagaglio culturale tecnico dell'ingegnere nucleare devono rientrare metodologie e strumenti forniti dalla fisica (nucleare, dei reattori nucleari, e dei plasmi) dalla termofluidodinamica (monofase e bifase), dall'impiantistica dei componenti e dei sistemi e dalle tecnologie nucleari. Sono inoltre trattate le problematiche connesse con la valutazione dell'impatto ambientale dei sistemi per la produzione di energia. Data l'importanza dell'affidabilità e della sicurezza nelle applicazioni nucleari, viene data particolare rilevanza alle tecniche di analisi affidabilistica e di valutazione del rischio. Inoltre, tecniche e metodologie sviluppate nell'ambito dell'ingegneria nucleare sono frequentemente utilizzate in altri settori dell'ingegneria: a titolo di esempio si possono citare le tecniche computazionali sofisticate, l'ingegneria delle radiazioni e degli acceleratori di particelle, i plasmi tecnologici, l'analisi fenomenologica e probabilistica di impianti caratterizzati da rischi rilevanti, la localizzazione degli impianti e la valutazione di impatto ambientale, il progetto termoidraulico e termomeccanico di componenti soggetti a svariate tipologie di sforzo, la garanzia della qualità.

Il profilo professionale dell'ingegnere nucleare è caratterizzato da una solida formazione fisico-matematica e ingegneristica di base, unita a conoscenze di tipo specialistico, articolate nei vari orientamenti previsti. Vengono privilegiati gli aspetti metodologici con un approccio interdisciplinare, utilizzabile anche in altri campi dell'ingegneria, al fine di un inserimento sia in attività produttive che in strutture in cui viene svolta attività di ricerca applicata.

Piano ufficiale degli studi

Il piano ufficiale degli studi per gli studenti di ingegneria nucleare prevede 29 annualità, di cui 24 obbligatorie e 5 di orientamento. Esse comprendono gli insegnamenti comuni a tutti i corsi di laurea in ingegneria, quelli specifici del settore industriale, quelli caratterizzanti a livello nazionale il Corso di laurea in Ingegneria nucleare e, infine, gli insegnamenti di orientamento.

## ■ INSEGNAMENTI OBBLIGATORI

*Poichè la formazione matematica deve essere sufficientemente approfondita, agli strumenti matematici, necessari ad ogni ingegnere, forniti negli insegnamenti di Analisi matematica 1 e 2 e Geometria, occorre aggiungere, ad esempio, metodi per la trattazione delle equazioni differenziali alle derivate parziali e nelle funzioni di variabile complessa (Metodi matematici per l'ingegneria) e fornire le principali tecniche di calcolo numerico (una semi-annualità di Calcolo numerico) per un totale di 5 insegnamenti corrispondenti a 4,5 annualità. Ad esse si aggiunge una semi-annualità di Meccanica analitica, che sviluppa i metodi lagrangiani e hamiltoniani, fornendo altresì i fondamenti di calcolo delle probabilità.*

*Per quanto riguarda la fisica, tre insegnamenti (Fisica 1 e 2 e Fisica Nucleare) forniscono, oltre alle basi generali per la comprensione dei fenomeni della fisica classica, nozioni di struttura della materia, di meccanica quantistica e di fisica nucleare, con elementi di fisica dello stato condensato e dei plasmi, per un totale di tre annualità. Due insegnamenti trattano i fondamenti generali della Chimica e le applicazioni di Scienza e tecnologia dei materiali nucleari, per un totale di ulteriori due annualità. Un insegnamento di Disegno tecnico industriale permette la comprensione dei disegni di componenti meccanici, fornendo altresì le principali tecniche di rappresentazione, comprese quelle assistite dal computer (una annualità).*

*La cultura ingegneristica di base richiede cinque insegnamenti nelle aree del calcolo delle strutture (Scienza delle costruzioni), della meccanica applicata (Meccanica applicata alle macchine), dell'Elettrotecnica con elementi di macchine elettriche, dell'Elettronica applicata e della Termodinamica applicata, per un totale di cinque annualità. Completano la formazione ingegneristica gli insegnamenti di Macchine e Costruzione di macchine (che dedica ampia parte del corso al calcolo strutturale di componenti soggetti a sforzi termomeccanici), nonché gli insegnamenti di Istituzioni di economia (dedicata in parte alla gestione dell'impresa e all'economia delle fonti di energia) e di Fondamenti di informatica, che affronta le problematiche relative ai sistemi di elaborazione e alla loro programmazione, per un totale di quattro annualità.*

*La preparazione professionale specifica nel campo dell'ingegneria nucleare richiede quattro insegnamenti di base, che trattano i seguenti argomenti: Fisica dei reattori, Impianti nucleari, Strumentazione e misure per gli impianti nucleari e Termofluidodinamica, per un totale di quattro annualità.*

*Il corso di fisica dei reattori è di tipo integrato e si articola in due moduli di Fisica dei reattori a fissione e Fisica dei reattori a fusione, che hanno lo scopo, rispettivamente, di analizzare i principali metodi fisico-matematici della neutronica applicata ai reattori nucleari, e di fornire gli elementi della teoria fisico-matematica che sta alla base del funzionamento delle macchine per lo studio della fusione nucleare. Il corso di Impianti nucleari è di tipo integrato e, accanto ad un modulo che illustra le caratteristiche e il funzionamento degli impianti a fissione, comprende un modulo di Ingegneria dei reattori nucleari a fusione 1, che analizza dal punto di vista ingegneristico le principali macchine per lo studio della fusione nucleare. Il corso di Strumentazione e misure per gli impianti nucleari, partendo dalla teoria della misura, affronta le problematiche inerenti alla strumentazione usata negli impianti nucleari per la misura di grandezze sia nucleari che non nucleari. Il corso di Termofluidodinamica degli impianti nucleari 1 approfondisce la conoscenza della fluidodinamica e della termocinetica, fornendo le metodologie e gli strumenti di calcolo della meccanica dei fluidi e della trasmissione del calore.*

*Il quadro didattico degli insegnamenti obbligatori comprende quindi discipline rapportabili a 27 insegnamenti, raggruppate in 24 annualità, come è mostrato nella tabella riassuntiva seguente.*

## ■ QUADRO DIDATTICO DEGLI INSEGNAMENTI OBBLIGATORI CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE

Anno	1° periodo didattico	2° periodo didattico
1	Q0231 Analisi matematica I	Q2300 Geometria
	Q0620 Chimica	Q1901 Fisica generale I
		Q2170 Fondamenti di informatica
2	Q0232 Analisi matematica II	Q3480 Metodi matematici per l'ingegneria
	Q1902 Fisica generale II	Q3204 Meccanica analitica (r)
	Q1430 Disegno tecnico industriale	Q4670 Scienza e tecnologia dei materiali nucleari
		Q0514 Calcolo numerico (r)
3	Q4600 Scienza delle costruzioni	Q1790 Elettrotecnica
	Q2040 Fisica nucleare	Q3210 Meccanica applicata alle macchine
	Q5950 Termodinamica applicata	Q1965 Fisica dei reattori a fissione/Fisica dei reattori a fusione (i)
4	Q7210 Elettronica industriale	Q3110 Macchine
	Q2775 Impianti nucleari / Ingegneria dei reattori nucleari a fusione I (i)	Q0940 Costruzione di macchine
	QA551 Termoidraulica I	Y (1) Y (2)
5	Q8390 Misure e strumentazione nucleari	Q3040 Istituzioni di economia
	Y (3)	Y (6)
	Y (4)	Y (7)
	Y (5)	Y (8)

(i) Corso Integrato.

(r) Corso Ridotto.

## ■ PROFESSIONALITÀ E ORIENTAMENTI

I corsi previsti negli orientamenti in cui si articola il corso di laurea in Ingegneria nucleare (*Fisica dei reattori e controllo, Fisico-strumentale, Impiantistico, Energetico*) approfondiscono le principali problematiche delle aree culturali di maggiore importanza del settore e rispondono alle esigenze di professionalità richieste.

### **Orientamento Fisica dei reattori e controllo**

L'orientamento approfondisce i fenomeni fisici peculiari dei reattori a fissione e delle macchine per la fusione nucleare, al fine di preparare a una attività di ricerca e alla progettazione nel campo della neutronica, della dinamica e controllo degli impianti nucleari, della fisica dei plasmi e dell'analisi di sicurezza.

A tale scopo, sono previsti corsi che trattano sia gli aspetti fisici che le applicazioni ingegneristiche della teoria. Altri approfondiscono invece i metodi matematici e di calcolo necessari.

Inoltre, vengono analizzati i problemi di stabilità, regolazione e controllo degli impianti per la produzione di energia elettrica e le metodologie per lo studio del comportamento dinamico dei sistemi complessi.

L'orientamento è caratterizzato da corsi destinati a:

- approfondire la teoria cinetica che sta alla base dello studio statistico della dinamica di sistemi fisici costituiti da un numero elevatissimo di particelle (*Trasporto di particelle e di radiazione*);
- approfondire gli aspetti fisico-matematici della teoria del trasporto per i neutroni e affrontare il progetto neutronico dei reattori nucleari (*Reattori nucleari avanzati*);
- sviluppare le metodologie di calcolo e di simulazione numerica in problemi di interesse per la fisica dei reattori nucleari (*Metodi matematici per i reattori nucleari*);
- studiare il controllo e la regolazione degli impianti nucleari (*Dinamica e controllo degli impianti nucleari*);

Sono inoltre svolte, in corsi a scelta, tematiche volte a:

- acquisire strumenti fisico-matematici non trattati nei corsi di base (*Fisica matematica*);
- approfondire la fisica dei plasmi e l'ingegneria dei reattori nucleari a fusione (*Fisica e ingegneria dei plasmi + Ingegneria dei reattori nucleari a fusione 2*);
- completare la conoscenza sugli impianti nucleari con particolare riguardo ai problemi di sicurezza (*Impianti nucleari 2, Sicurezza e analisi di rischio*).

L'orientamento si prefigge sia di fornire strumenti per l'analisi e la progettazione nel settore neutronico che di familiarizzare lo studente con metodologie scientifiche caratteristiche della ricerca tecnologica in vasti settori dell'ingegneria.

La preparazione è finalizzata non solo allo svolgimento di attività professionale nell'industria nucleare, ma anche a un inserimento presso industrie a tecnologia avanzata e laboratori di ricerca.

### **Orientamento fisico-strumentale**

L'orientamento è indirizzato alla formazione di tecnici e ricercatori in vari settori della fisica applicata e in particolare della fisica nucleare e degli stati aggregati della materia. Fornisce inoltre una preparazione specialistica nel campo delle radiazioni e della strumentazione nucleare. Vengono approfondite le problematiche fisiche dell'energia nucleare da fissione e da fusione e della struttura dei materiali rilevanti nelle applicazioni tecnologiche avanzate.

L'orientamento è caratterizzato da corsi rivolti a:

- l'approfondimento della preparazione fisico-matematica con argomenti non trattati nei corsi di base (*Fisica matematica, Meccanica statistica*);
- l'utilizzazione della strumentazione basata sulle tecniche della fisica sperimentale (*Strumentazione fisica*);
- lo studio di macchine acceleratrici sia dal punto di vista costruttivo che applicativo (*Acceleratori di particelle*).

Sono inoltre svolte, in corsi a scelta, tematiche inerenti:

- l'approfondimento della fisica dei plasmi dell'ingegneria delle macchine per lo studio della fusione nucleare (*Fisica e ingegneria dei plasmi + Ingegneria dei reattori nucleari a fusione 2*);
- l'approfondimento della fisica e della tecnologia dei materiali utilizzati negli impianti nucleari (*Tecnologie e applicazioni nucleari, Radioattività + Superconduttività*).
- l'approfondimento della teoria cinetica che sta alla base dello studio statistico della dinamica di sistemi fisici costituiti da un numero elevatissimo di particelle (*Trasporto di particelle e di radiazione*);

L'orientamento fornisce una preparazione adatta a un inserimento professionale nell'industria nucleare, in laboratori industriali e medici e in laboratori di ricerca sia di base che applicata.

### **Orientamento impiantistico**

L'orientamento è finalizzato alla analisi, modellistica e progettazione degli impianti nucleari a fissione e fusione.

Le conoscenze di meccanica dei fluidi, termodinamica e scienza dei materiali vengono ulteriormente sviluppate e poste alla base dello studio dei reattori a fissione, termici e veloci, e dei reattori a fusione.

I principali sistemi e componenti degli impianti vengono analizzati dal punto di vista funzionale, termomeccanico e dell'affidabilità, in condizioni di esercizio e di incidente.

L'orientamento è caratterizzato da corsi rivolti a:

- l'analisi dei fenomeni termofluidodinamici in regime multifase (*Termofluidodinamica degli impianti nucleari 2*);
- la progettazione termoidraulica di componenti e sistemi attinenti all'impiantistica nucleare (*Termotecnica del reattore*);
- l'analisi di sicurezza degli impianti nucleari a fissione e fusione con metodologie deterministiche e probabilistiche (*Impianti nucleari 2*);
- l'approfondimento delle problematiche del ciclo del combustibile e delle tecnologie dei materiali per la fissione e la fusione (*Tecnologie ed applicazioni nucleari*).

Sono inoltre svolte, in corsi a scelta, tematiche inerenti:

- l'approfondimento della fisica e dell'ingegneria dei reattori nucleari a fusione (*Fisica e ingegneria dei plasmi + Ingegneria di reattori a fusione 2*);
- il calcolo strutturale di componenti soggetti a sforzi meccanici e termici (*Progetti e costruzioni nucleari*);
- l'analisi delle problematiche di radioprotezione e la progettazione delle relative salvaguardie (*Protezione e sicurezza negli impianti nucleari*);
- l'approfondimento dei diversi aspetti del rischio tecnologico e l'applicazione dell'analisi affidabilistica al progetto di componenti e sistemi ingegneristici complessi (*Sicurezza e analisi di rischio*).

L'orientamento è volto a preparare sia a una attività professionale nell'industria nucleare o comunque a tecnologia avanzata, che a una attività di ricerca applicata.

Le metodologie di analisi dei fenomeni termoidraulici e termomeccanici e della sicurezza possono essere utilizzate per il progetto di impianti termici e lo studio di sistemi di tecnologia elettrica.

### **Orientamento energetico**

L'orientamento fornisce le conoscenze e gli strumenti metodologici per l'analisi, la modellistica e la valutazione tecnica, economica e ambientale di sistemi industriali finalizzati alla produzione di energia, sia da fonte nucleare che da fonti convenzionali.

La conoscenza delle caratteristiche funzionali di componenti e sistemi viene integrata dall'analisi degli aspetti connessi all'affidabilità e alla sicurezza e alle implicazioni di carattere ambientale, a scala locale e globale.

L'orientamento è caratterizzato da corsi rivolti a:

- l'analisi e la valutazione tecnica economica ed ambientale dei sistemi energetici (*Energetica e sistemi nucleari*);
- l'analisi dei fenomeni termofluidodinamici in regime multifase che si realizzano negli impianti di potenza (*Termofluidodinamica negli impianti nucleari 2*);
- la valutazione di impatto ambientale per l'inserimento nel territorio dei sistemi energetici (*Localizzazione dei sistemi energetici*);
- l'analisi di sicurezza degli impianti nucleari a fissione e fusione con metodologie deterministiche e probabilistiche (*Impianti nucleari 2*).

Sono inoltre svolte, in corsi a scelta, tematiche inerenti:

- il controllo e la regolazione degli impianti nucleari di potenza, inseriti in un sistema energetico complesso (*Dinamica e controllo degli impianti nucleari*);
- l'analisi delle problematiche di radioprotezione e la progettazione delle relative salvaguardie (*Protezione e sicurezza degli impianti nucleari*);
- l'approfondimento dei diversi aspetti del rischio tecnologico e l'applicazione dell'analisi affidabilistica al progetto di componenti e sistemi ingegneristici complessi (*Sicurezza e analisi di rischio*);
- la progettazione termoidraulica di componenti e sistemi attinenti all'impiantistica nucleare (*Termotecnica del reattore*).

L'orientamento è volto a preparare ad attività professionali nel settore energetico e nucleare, finalizzate alla progettazione, analisi e valutazione di sistemi energetici complessi e al loro inserimento ambientale.

Le conoscenze acquisite preparano anche ad attività connesse alla pianificazione energetica alle varie scale territoriali.



## ■ INSEGNAMENTI DI ORIENTAMENTO

### **Orientamento Fisico-strumentale**

Y (1)	<b>Q2030</b>	Fisica matematica
Y (2)	<b>Q5310</b>	Strumentazione fisica
Y (3)	<b>Q3390</b>	Meccanica statistica
Y (4)	<b>QA590</b>	Fisica degli acceleratori
Y (N)		Insegnamento a scelta su Tabella A

### **Tabella A**

2	<b>Q4434</b>	Radioattività (r) + Q5404 Superconduttività (r)
2	<b>Q2024</b>	Fisica e ingegneria dei plasmi (r) + Q2934 Ingegneria dei reattori nucleari a fusione II (r)
1	<b>Q5680</b>	Tecnologie e applicazioni nucleari
2	<b>Q6050</b>	Trasporto di particelle e di radiazione

### **Orientamento Fisica dei reattori e controllo**

Y (1)	<b>Q6050</b>	Trasporto di particelle e di radiazione
Y (3)	<b>Q4460</b>	Reattori nucleari avanzati
Y (4)	<b>Q3470</b>	Metodi matematici per i reattori nucleari
Y (6)	<b>QA370</b>	Dinamica e controllo degli impianti nucleotermoelettrici
Y (N)		Insegnamento a scelta su Tabella B

### **Tabella B**

2	<b>Q4740</b>	Sicurezza e analisi di rischio
1	<b>Q2772</b>	Impianti nucleari II
2	<b>Q2024</b>	Fisica e ingegneria dei plasmi (r) + Q2934 Ingegneria dei reattori nucleari a fusione II (r)
2	<b>Q2030</b>	Fisica matematica

### **Orientamento Impiantistico**

Y (1)	<b>QA552</b>	Termoidraulica II
Y (3)	<b>Q2772</b>	Impianti nucleari II
Y (4)	<b>Q5680</b>	Tecnologie e applicazioni nucleari
Y (6)	<b>Q6010</b>	Termotecnica del reattore
Y (N)		Insegnamento a scelta su Tabella C

### **Tabella C**

2	<b>Q2024</b>	Fisica e ingegneria dei plasmi (r) + Q2934 Ingegneria dei reattori nucleari a fusione II (r)
1	<b>Q4410</b>	Protezione e sicurezza negli impianti nucleari
2	<b>Q4240</b>	Progetti e costruzioni nucleari
2	<b>Q4740</b>	Sicurezza e analisi di rischio

## **Orientamento Energetico**

- Y (1) **Q1830** Energetica e sistemi nucleari
- Y (2) **QA552** Termoidraulica II
- Y (3) **Q3090** Localizzazione dei sistemi energetici
- Y (4) **Q2772** Impianti nucleari II
- Y (N) Insegnamento a scelta su Tabella D

## **Tabella D**

- 2 **QA370** Dinamica e controllo degli impianti nucleotermoelettrici
- 2 **Q4740** Sicurezza e analisi di rischio
- 1 **Q4410** Protezione e sicurezza negli impianti nucleari
- 2 **Q6010** Termotecnica del reattore

## ■ TESI DI LAUREA

La tesi di laurea consiste nello svolgimento, sotto guida di un professore ufficiale, di un progetto o di uno studio di carattere tecnico o scientifico.

Gli allievi che hanno deciso di optare per tale tesi devono farne domanda al Presidente del Consiglio di corso di laurea con modulo giallo in distribuzione presso la Segreteria Didattica Interdipartimentale Area-Sud indicando l'argomento e consegnarla alla medesima Segreteria almeno sei mesi prima dell'esame ed entro le date sotto riportate:

SESSIONE DI LAUREA		SCADENZA FOGLIO GIALLO	
1° Sessione 99/2000	turno unico	marzo 2000	3 settembre 1999
2° Sessione 99/2000	1° turno	maggio 2000	12 novembre 1999
	2° turno	luglio 2000	14 gennaio 2000
3° Sessione 99/2000	1° turno	ottobre 2000	14 aprile 2000
	2° turno	dicembre 2000	9 giugno 2000

Alla domanda di ammissione agli esami di laurea, da presentare al Servizio Studenti, devono inoltre, allegare il foglio bianco, in distribuzione presso il suddetto Servizio, con l'indicazione dell'argomento della tesi svolta, controfirmato dal relatore.

Inoltre coloro che hanno consegnato il modulo giallo alla Segreteria Didattica Interdipartimentale, dovranno, prima della consegna della domanda di laurea al Servizio Studenti, fare apporre sul foglio bianco dalla suddetta Segreteria Didattica Interdipartimentale, un visto attestante il regolare deposito, nei termini previsti, del modulo giallo.

Una copia della tesi firmata dal relatore, deve essere consegnata al Servizio Studenti alcuni giorni prima dell'inizio della sessione di laurea e comunque non oltre la data riportata sulla Guida dello studente - Manifesto agli studi 1999-2000; una copia firmata deve essere consegnata al Presidente del Consiglio del corso di laurea; una copia deve essere portata dal laureando alla seduta di laurea.

Tesi e sintesi devono essere redatte in fogli di formato UNI A4.

## PROGRAMMI DEGLI INSEGNAMENTI

### PROPRIETÀ

La prima parte è dedicata fondamentalmente agli elementi di calcolo elementare e di calcolo differenziale avanzato che, opportunamente compresi, servono a formare una solida base per lo svolgimento della parte centrale del corso. Inoltre vengono sviluppate tecniche numeriche, si partecipa all'attività di esercitazione con computer personal, di grande utilità per la programmazione e l'analisi di elementi strutturali di vari accoppiatori (10% del totale).

La seconda parte consiste di una ricerca personale dei due più importanti di accoppiatori (elastico-elastico lineare, elastico-elastico non lineare), dei loro principi costituzionali e delle tecniche di calcolo di essi. Inoltre si sviluppano in dettaglio le tecniche di calcolo di flessione e di torsione e si descrive il principio di localizzazione della trazione, sulla base del quale si analizzano i fenomeni relativi del momento e gradiente elastico (10% del totale).

Infine nella terza parte vengono studiate almeno tre le più importanti combinazioni degli accoppiatori, spesso attraverso l'espressione di "matrici" da parte degli studenti. L'uso applicativo di particolare interesse scientifico si studia quindi l'utilizzo dei metodi di calcolo della trazione, delle vite elastiche. Per comprendere meglio l'importanza dell'argomento vengono illustrati i metodi più avanzati del calcolo delle parti elastiche, quali l'uso di funzioni del quarto e di espressioni quadratiche, le si esamineranno con (10% del totale).

## Q0010 ACCELERATORI DI PARTICELLE

Anno: 5	Periodo: 1
Impegno (ore sett.)	lezione, esercitazione, laboratorio: 6
Impegno (ore totali)	lezione: 70      esercitazione, laboratorio: 10
Docente:	<b>Pier Paolo DELSANTO</b>

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si ripropone una finalità culturale e una applicativa. La finalità culturale è legata all'importanza sia fisica che ingegneristica degli argomenti trattati nel corso. Data la natura multidisciplinare del campo esistono inoltre parecchie opportunità di spunti sia per il ripasso di argomenti di grande importanza e generalità, sia per la discussione delle prospettive di progresso sia scientifico che tecnologico.

Per quanto riguarda le finalità applicative, occorre notare che i grandi acceleratori presenti e futuri (per es. LEP, LHC) richiedono personale altamente qualificato, quali potrebbero essere i laureati di Ingegneria nucleare dopo una specializzazione. Inoltre in campo medico e industriale si diffonde sempre più l'uso di piccoli acceleratori. Pertanto il corso si ripropone anche d'indirizzare gli studenti verso queste possibili offerte del mercato occupazionale, incoraggiandoli, per es. mediante le "tesine", a esaminare le applicazioni degli acceleratori.

Il corso consiste di tre parti.

### PROGRAMMA

*Nella prima parte* si ripassano velocemente quegli elementi di relatività ristretta e di elettromagnetismo avanzato che, opportunamente complementati, servono a formare una solida base per la comprensione della parte centrale del corso. Inoltre vengono sviluppate tecniche numeriche, in particolare utilizzabili in connessione con *computers* paralleli, di grande utilità per la progettazione e analisi di elementi strutturali di vari acceleratori. (30% del totale)

*La seconda parte* consiste di una veloce rassegna dei tipi più importanti di acceleratori (elettrostatici, lineari, betatroni, ciclotroni, sincrociclotroni e sincrotroni), dei loro principi operazionali e del principio di stabilità di fase. Inoltre si sviluppano in dettaglio le teorie di oscillazione di betatrone e di sincrotrone e si descrive il principio di focalizzazione forte, sulla base del quale viene spiegato il funzionamento dei sincrotroni a gradiente alternato. (40% del totale)

*Infine nella terza parte* vengono studiate alcune fra le più importanti applicazioni degli acceleratori, spesso attraverso l'esposizione di "tesine" da parte degli studenti. Come applicazione di particolare interesse scientifico si studia inoltre l'utilizzo dei grandi acceleratori nella fisica delle alte energie. Per comprendere meglio l'importanza dell'argomento vengono illustrati i concetti più innovativi della fisica delle particelle elementari, quali l'introduzione dei quarks, la cromodinamica quantistica, le supersimmetrie, etc. (30% del totale)

## Q0231 ANALISI MATEMATICA I

Anno: 1                      Periodo: 1  
Impegno (ore totali)      lezione: 70      esercitazione: 46  
Docente:                    **Valeria CHIADO' PIAT**

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso sviluppa gli argomenti di base della analisi matematica sulla retta reale quali il concetto di funzione, di continuità, di derivabilità e di integrale. È il primo modulo dedicato all'impostazione logica e metodologica di base ed al calcolo differenziale. Il secondo modulo riguarda invece il calcolo integrale e le equazioni differenziali. Gli argomenti sono sviluppati sottolineando le concatenazioni logiche e le deduzioni. I contenuti di questo corso, oltre ad essere propedeutici ai corsi successivi e applicativi, hanno una funzione formativa di base, abituando lo studente a ragionamenti rigorosi e svincolati da singole applicazioni.

### REQUISITI

*I Modulo:* Nozioni di base di algebra, elementi di trigonometria, proprietà dei logaritmi e grafici di alcune funzioni elementari.

*II Modulo:* I Modulo

### PROGRAMMA

Il modulo:                      CALCOLO DIFFERENZIALE (60%)  
Periodo:                        primo semestre  
Impegno (ore totali)      lezione: 42      esercitazione: 27

Logica, insiemi, numeri, funzioni.

Continuità, limiti, proprietà locali di funzioni continue, confronto locale di infiniti e infinitesimi.

Successioni, numero e.

Proprietà globali delle funzioni continue.

Derivata, calcolo differenziale, proprietà delle funzioni derivabili.

Formula di Taylor e convessità.

Il modulo:                      CALCOLO INTEGRALE ED EQUAZIONI DIFFERENZIALI (40%)  
Periodo:                        secondo semestre  
Impegno (ore totali)      lezione: 28      esercitazione: 19

Primitive ed integrale definito.

Integrali impropri.

Equazioni differenziali ordinarie.

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Nelle ore di esercitazione vengono svolti esercizi sugli stessi argomenti delle lezioni.

### BIBLIOGRAFIA

A. Bacciotti, F. Ricci: *Analisi Matematica, Volume I*, Liguori Editore, Napoli 1994.

Per consultazione:

P. Marcellini, C. Sbordone: *Esercitazioni di Matematica, 1° Volume*, parte prima e seconda, Liguori Editore, Napoli 1995.

P. Bruno Longo, *Esercitazioni di Analisi Matematica*, Esculapio, Bologna 1997.

## ESAME

L'esame che conclude il corso consiste di una prova scritta e di una orale. La prova orale può comprendere una serie di domande di carattere teorico, cui sia richiesto di rispondere per scritto. Le due prove devono essere sostenute nello stesso appello e vertono sull'intero programma del corso. Gli studenti vengono ammessi alla prova orale solo se hanno superato positivamente la prova scritta. La data della prova scritta coincide con la data ufficiale dell'appello.

## Q0232 ANALISI MATEMATICA II

Anno: 2                                      Periodo: 1  
Impegno (ore totali)                      lezione: 70                      esercitazione: 46  
Docente:                                      **Marco CODEGONE**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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

### **REQUISITI**

*I Modulo:* Analisi Matematica I - Geometria.

*I Modulo:* Analisi Matematica I - Geometria - I Modulo

### **PROGRAMMA**

I modulo:                                      FUNZIONI DI PIU' VARIABILI (50%)

Periodo:                                      primo emise semestre

Impegno (ore totali)                      lezione: 35                      esercitazione: 23

Limiti e continuità per funzioni di più variabili.

Calcolo differenziale: derivate parziali, derivate direzionali, differenziale, piano tangente.

Gradiente. Formula di Taylor, matrice Hessiana. Punti stazionari. Funzioni vettoriali.

Calcolo differenziale su curve e superfici.

Integrali multipli.

Integrali su curve e superfici. Integrali di flusso, teorema della divergenza. Forma differenziale, integrale di linea. Teorema di Green, teorema di Stokes. Forme differenziali esatte.

Il modulo:                                      SERIE ED EQUAZIONI DIFFERENZIALI (50%)

Periodo:                                      secondo emise semestre

Impegno (ore totali)                      lezione: 35                      esercitazione: 23

Serie numeriche, generalità. Serie a termini positivi. Serie di segno alterno. Convergenza assoluta. Serie negli spazi normati. Serie di Potenze.

Funzioni periodiche. Famiglie ortogonali di funzioni. Polinomi trigonometrici. Polinomio di Fourier di una funzione a quadrato integrabile. Serie di Fourier di una funzione a quadrato integrabile. Serie di Fourier e sua convergenza in media quadratica. Identità di Parseval.

Sistemi di equazioni differenziali del 1° ordine. Problema di Cauchy. Equazioni differenziali di ordine n. Sistemi lineari a coefficienti costanti del primo ordine.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Nelle ore di esercitazione vengono svolti esercizi sugli stessi argomenti delle lezioni.

### **BIBLIOGRAFIA**

A. BACCIOTTI, F. RICCI: *Lezioni di Analisi Matematica II*, Levrotto & Bella, Torino, 1991.

M. MASCARELLO: *Analisi Matematica II, Raccolta e stampa dei trasparenti*, Prog. Leonardo, Esculapio, Bologna, 1998.

Testi ausiliari:

M. MASCARELLO, L. MAZZI: *Temi d'esame di Analisi Matematica II del Politecnico di Torino*, Progetto Leonardo, Esculapio Bologna, 1997.



P. MARCELLINI, C. SBORDONE: *Esercitazioni di Matematica, 2° Volume, parte prima e parte seconda*, Liguori Editore, Napoli, 1995.

H.B. DWIGHT, *Tables of integrals and other mathematical data*, Macmillan.

## ESAME

L'esame che conclude il corso consiste di una prova scritta e di una orale. La prova orale può comprendere una serie di domande di carattere teorico, cui sia richiesto di rispondere per scritto. Le due prove devono essere sostenute nello stesso appello e vertono sull'intero programma del corso. Gli studenti vengono ammessi alla prova orale solo se hanno superato positivamente la prova scritta. La data della prova scritta coincide con la data ufficiale dell'appello.

## **Q0514 CALCOLO NUMERICO (r)**

(Corso ridotto)

Anno: 2	Periodo: 2	
Impegno (ore sett.)	lezione: 3	esercitazione, laboratorio: 1
Docente:	da nominare	

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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

### **REQUISITI**

Analisi I, Geometria, Fondamenti di informatica.

### **PROGRAMMA**

*Aritmetica del calcolatore e algoritmi numerici.* [3 ore]

Errori di arrotondamento, operazioni di macchina.

Cancellazione numerica.

Condizionamento di un problema, stabilità di un algoritmo.

*Sistemi lineari.* [8 ore]

Metodo di eliminazione di Gauss.

Decomposizione di Gauss e fattorizzazione LU.

Determinazione matrice inversa.

Metodi iterativi: Jacobi, Gauss-Seidel, SOR.

*Autovalori di matrici.* [4 ore]

Metodo delle potenze.

Metodo delle potenze inverse.

Cenni sul metodo QR.

*Approssimazione di dati e di funzioni.* [8 ore]

Interpolazione polinomiale: formule di Lagrange e di Newton.

Interpolazione con funzioni polinomiali a tratti.

Funzioni *spline*.

Metodo dei minimi quadrati.

*Equazioni non lineari.* [3 ore]

Radici di equazioni non lineari: metodi di bisezione, secanti, tangenti; metodi iterativi in generale.

Sistemi di equazioni non lineari: metodo di Newton e sue varianti; metodi iterativi in generale.

*Calcolo di integrali.* [4 ore]

Formule di quadratura di tipo interpolatorio: formule di Newton-Cotes e formule gaussiane.

Formule composte.

*Equazioni differenziali ordinarie.* [4 ore]

Metodi *one-step* espliciti. Metodi Runge-Kutta.

Metodi *multistep* lineari. Metodi di Adams.

Convergenza e stabilità dei metodi numerici.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Vengono sottolineati, con esempi, aspetti particolarmente importanti degli argomenti trattati nelle lezioni, svolti esercizi che contribuiscono ad una miglior comprensione della teoria e costruiti algoritmi di calcolo. Vengono infine proposte allo studente delle esercitazioni al calcolatore da svolgere a casa o presso i LAIB del Politecnico.

## BIBLIOGRAFIA

G. Monegato, *Elementi di calcolo numerico*, Levrotto & Bella, Torino, 1995.

## ESAME

Per i soli iscritti al corso è prevista una prova scritta finale, su tutto il programma svolto, sostitutiva dell'esame orale. Tale prova è da considerarsi alternativa al primo appello d'esame. Nel corso della prova non è ammessa la consultazione di testi. L'eventuale ritiro durante la prova di esonero non comporta alcuna conseguenza. Negli appelli previsti dal calendario l'esame è solo orale.



Elementi di chimica organica

Cenni di nomenclatura ed isomeria. Idrocarburi saturi, insaturi ed aromatici. Principali gruppi funzionali della chimica organica.

Elementi di chimica ambientale

Ciclo dell'azoto. Buco dell'ozono ed effetto serra. Inquinamento dell'aria e qualità delle acque.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

I modulo

Valenza, numero di ossidazione e nomenclatura dei composti chimici. Suddivisione degli elementi in metalli, non metalli. Ossidi e loro idratazione (idrossidi e ossoacidi).

Sali neutri, sali acidi e basici; idracidi; perossidi.

Reazioni chimiche non redox, redox e loro bilanciamento. Relazioni ponderali tra reagenti e prodotti nelle reazioni chimiche.

Esercizi sui gas ideali.

Esercizi sulla concentrazione delle soluzioni e sulla proprietà colligative delle soluzioni di non elettroliti e di elettroliti.

Calcolo del pH e pOH di soluzioni acide e basiche.

II modulo

Esercizi di termochimica.

Calcoli su reazioni chimiche di equilibrio omogeneo.

Calcoli su reazioni chimiche di equilibrio eterogeneo. Prodotto di solubilità.

Leggi di Faraday ed equazione di Nernst.

Esercizi sulla nomenclatura organica.

Esercizi di riepilogo.

## **BIBLIOGRAFIA**

P. Atkins CHIMICA GENERALE, Zanichelli, Bologna

C. Brisi e V. Cirilli, CHIMICA GENERALE ED INORGANICA, Ed Levrotto e Bella (TO)

P. Corradini, CHIMICA GENERALE, Casa Editrice Ambrosiana

P. Silvestroni, FONDAMENTI DI CHIMICA, Ed. Masson (MI)

Per le esercitazioni

C. Brisi, ESERCITAZIONI DI CHIMICA, Ed Levrotto e Bella (TO)

D. Mazza, ESERCITAZIONI DI CHIMICA AL CALCOLATORE, Ed CLUT (TO)

J. L. Rosenberg, CHIMICA GENERALE, Collana SCHAUM n°5, ETAS Libri.

## **Q0940      COSTRUZIONE DI MACCHINE**

Anno: 4

Periodo: 2

Impegno (ore sett.)

lezione: 6

esercitazione: 4

Docente:

**Graziano CURTI** (collab.: **Cristina BIGNARDI, Francesca CURÀ**)

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si articola nei tre moduli seguenti:

- 1) Principi generali di resistenza degli organi delle macchine - 30%;
- 2) Progettazione e calcolo di componenti complessi - 40%;
- 3) Dispositivi e organi di giunzione e collegamento - 30%.

Il corso ha l'obiettivo di riprendere e approfondire gli argomenti della Scienza delle Costruzioni con particolare riferimento a quelli che costituiscono il fondamento della progettazione delle macchine e dei loro componenti. In esso vengono presentati gli elementi tipici che influenzano il comportamento e la resistenza degli organi delle macchine come l'effetto d'intaglio, la fatica, lo scorrimento a caldo e lo smorzamento interno dei materiali. Di questi elementi vengono forniti i dati caratteristici (metodi, formule, diagrammi) che ne consentono l'applicazione pratica. Vengono inoltre descritti e illustrati i principali organi delle macchine e i mezzi di collegamento e di accoppiamento.

Il corso si propone in definitiva di fornire agli allievi le metodologie della progettazione delle macchine e dei relativi organi.

### **REQUISITI**

Scienza delle Costruzioni, Meccanica Applicata alle Macchine.

### **PROGRAMMA**

Introduzione - Presentazione - Argomenti e Finalità - Lezioni, esercitazioni, esami: modalità e regole. (2 ore).

Ruote dentate - Ingranaggi - Caratteristiche geometriche, cinematiche, di taglio e di resistenza. (14 ore)

Cuscinetti - Tipi - Montaggio. (4 ore)

Ipotesi di rottura - Tensioni equivalenti. (4 ore)

La fatica dei materiali: descrizione, caratteristiche, diagrammi. - Meccanica della frattura. (10 ore).

Effetto d'intaglio: definizione, diagrammi, dati numerici. (6 ore)

Smorzamento interno dei materiali. Scorrimento a caldo dei materiali. (4 ore)

Molle - Tipi - Calcoli - Applicazioni. (16 ore)

Giunti - Innesti. (6 ore)

Teoria di Hertz: formule finali e applicazioni. (8 ore)

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Nell'ambito del corso verrà svolta una esercitazione che dovrà essere verificata dagli assistenti o dai coadiutori entro la fine delle lezioni.

L'esercitazione consiste nella progettazione del riduttore epicicloidale alle ruote di un veicolo industriale e comprende: i calcoli di dimensionamento e/o verifica di alcuni elementi del gruppo, il disegno complessivo e alcuni disegni particolari da definirsi.

Modalità di svolgimento delle esercitazioni. Distribuzione e descrizione del materiale didattico. Spiegazione dello schema e del disegno costruttivo del gruppo differenziale. (4 ore)

Calcolo dei rapporti di trasmissione. Calcolo dei numeri di denti. (2 ore)

- Forze scambiate nel gruppo differenziale. Cumulate dei carichi. (6 ore)  
Verifica degli ingranaggi a flessione e a pitting. (6 ore)  
Calcolo delle reazioni sui cuscinetti. Scelta dei cuscinetti. Verifica statica e dinamica. (2 ore)  
Calcolo degli scanalati. Calcolo di una giunzione bullonata. Calcolo dell'albero in uscita (ponte posteriore). (4 ore)  
Assistenza allo svolgimento delle esercitazioni. (30 ore)

## **BIBLIOGRAFIA**

- R. Giovannozzi, "Costruzione di Macchine", Casa Editrice Pàtron, Bologna.  
Niemann-Winter, "Elementi di macchine", Vol. 1, 2, 3. Ed. Scienza e Tecnica, Milano.  
G. Bongiovanni, G. Roccati, "Giunti fissi, articolati, elastici e di sicurezza", Levrotto & Bella, Torino, 1986.  
G. Bongiovanni, G. Roccati, "Giunti articolati per la trasmissione tra alberi mobili", Levrotto & Bella, Torino, 1984.  
G. Bongiovanni, G. Roccati, "Innesti a denti, ad attrito, automatici e di sopravanzo", Levrotto & Bella, Torino, 1987.

## **ESAME**

Prova orale.

Anno: 5	Periodo: 2	
Impegno (ore sett.)	lezione: 6	esercitazione, laboratorio: 2
Impegno (ore totali)	lezione: 80	esercitazione: 24 laboratorio: 6
Docente:	<b>Mario DE SALVE</b>	

**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone di fornire le metodologie per l'analisi della dinamica delle centrali nucleotermoelettriche e per il controllo automatico delle stesse. Il corso completa il percorso formativo di un ingegnere nucleare con la sensibilizzazione ai problemi dell'esercizio di impianti complessi, quali quelli nucleari, in condizioni di progetto e fuori progetto e nelle fasi di avviamento, di modulazione dei carichi, di fermata.

Il corso è articolato in due moduli. Il primo modulo (modulo A: Processi di produzione dell'energia elettrica e controlli automatici) ha l'obiettivo di acquisire le metodologie per la formulazione di modelli di dinamica e controllo di componenti e sistemi nonché l'applicazione a casi semplici, il secondo modulo (modulo B: Dinamica e controllo di componenti e sistemi di centrali nucleotermoelettriche) è specifico per la formulazione e l'applicazione di modelli a componenti e sistemi degli impianti nucleotermoelettrici.

Ogni modulo è caratterizzato da circa 40 ore di lezione e 10 di esercitazione.

I temi sviluppati riguardano:

- sistemi per la produzione di energia elettrica: caratteristiche funzionali ed interconnessione con la rete elettrica;
- elementi di teoria dei controlli automatici;
- cinetica puntiforme;
- modelli termoidraulici dinamici per componenti e sistemi;
- analisi della stabilità di impianti e sistemi;
- instabilità termoidrauliche;

L'obiettivo didattico dominante del corso è connesso alla formulazione di modelli, scelta degli strumenti di simulazione, analisi critica dei risultati della simulazione in relazione alle ipotesi e agli obiettivi dello studio. Nelle esercitazioni sono impiegati strumenti informatici per lo studio di sistemi lineari e non lineari.

Il corso è consigliabile agli studenti interessati all'analisi del sistema di produzione dell'energia elettrica con centrali sia nucleari che convenzionali, e più in generale agli studenti interessati alle problematiche di esercizio di impianti complessi.

**PROGRAMMA**

*I modulo: PROCESSI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA E CONTROLLI AUTOMATICI (50%)*

Problematiche di dinamica e controllo degli impianti di produzione dell'energia elettrica  
Controllo gerarchico e suoi livelli

Impiego dei calcolatori di processo nel controllo, supervisione e regolazione dei processi

Sistemi fisici e sistemi di regolazione

Modelli Dinamici e loro classificazione

Formulazione dei modelli dinamici con simulazione nel dominio del tempo e della frequenza

Sistemi meccanici con moto di traslazione e di rotazione

Sistemi elettrici ed elettromeccanici

Sistemi idraulici, Sistemi termici e Sistemi termoidraulici

Sistemi a parametri distribuiti, Sistemi non lineari

Schemi a blocchi ed algebra degli schemi a blocchi



Sistemi di regolazione: classificazione ed esemplificazione, Errori a transitorio esaurito  
Attuatori pneumatici, idraulici, elettromagnetici, di dinamica di alcuni strumenti di misura.  
Studio delle funzioni di trasferimento: luogo delle radici, risposta in frequenza, rappresentazioni di Bode e di Nyquist  
Stabilità dei sistemi a retroazione  
La compensazione con il metodo del luogo delle radici e con i diagrammi della risposta in frequenza.  
Esercitazioni: Utilizzo del MATLAB e relativi toolbox per lo studio nel dominio del tempo e della frequenza di semplici sistemi dinamici.

*Il modulo: DINAMICA E CONTROLLO DI COMPONENTI E SISTEMI DI CENTRALI NUCLEOTERMOELETTRICHE (50%)*

Generatori di vapore degli impianti termoelettrici e loro dinamica, Controllo del livello nei generatori di vapore

Centrali nucleotermoelettriche: caratteristiche funzionali e problematiche di regolazione

Analisi dettagliata delle caratteristiche e dei problemi di regolazione del Balance of Plant

Generatore di vapore a tubi ad U: modelli dinamici,

Regolazione del livello e della portata del vapore

Regolazione e dinamica delle turbine a vapore.

Sistema di scarico rapido del vapore (steam dump)

Il circuito primario: sottosistemi e problemi di regolazione, Funzionamento neutronico del core

Cinetica puntiforme e relative funzioni di trasferimento associate al core, Effetti di retroazione

associati alla reattività e stima dei coefficienti di reattività del core, Stabilità del reattore

Barre di controllo e sistemi di movimentazione delle barre di controllo.

Regolazione della reattività con l'acido bórico

Modello termoidraulico del circuito primario

Sottosistemi del sistema di controllo del volume e della chimica dell'acqua

Pressurizzatore : regolazione della pressione e del livello

Modelli dinamici per i reattori ad acqua bollente

Instabilità termoidrauliche

Transitori operativi , preoperazionali e di tipo anticipato

Esercitazioni: Formulazione di modelli e stesura di programmi di simulazione con il MATLAB

relativi a componenti e sistemi dei circuiti primari e secondari dell'impianto. Simulazione di transitori termoidraulici e neutronici di impianto.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

1. Applicazione del Simulink per la soluzione di problemi non lineari nel dominio del tempo. [10 ore]
2. Applicazione del MatLab e del control tools nella soluzione di modelli del circuito primario e secondario di un PWR. [10 ore ]
3. Esemplificazione del funzionamento dei regolatori e delle funzioni di regolazione su una attrezzatura didattica di controllo della pressione. [2 ore]
4. Esemplificazione del funzionamento di un sistema di acquisizione dati con misura di temperature e pressioni [2 ore].

## **BIBLIOGRAFIA**

J. Lewis, Nuclear reactor kinetics and control, Pergamon, 1978.

J.J. D'Azzo, C.H. Houpis, Linear control system analysis and design, conventional and modern, McGraw-Hill, 1988.

## **ESAME**

L'esame verte in modo prevalente sulla discussione ed analisi degli aspetti teorici dei temi svolti nelle esercitazioni nonché nella formulazione e discussione di tipici modelli dinamici di interesse delle centrali nucleotermoelettriche.

## Q1430 DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE

Anno: 2	Periodo: 1
Impegno (ore totali)	lezione: 50    esercitazione: 20    laboratorio: 40
Docente:	<b>Giovanni PODDA</b> (Dipartimento di Sistemi di Produzione ed Economia dell'Azienda, tel. 564.7239; e-mail: podda@polito.it;)

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di fornire agli allievi ingegneri nucleari nozioni e strumenti

- per rappresentare graficamente gli organi di macchine, secondo la normativa tecnica ;
- per interpretare i disegni tecnici, riconoscendo la geometria e la funzione dei vari componenti;
- per dimensionare con quote e tolleranze gli elementi rappresentati ai fini costruttivi e funzionali;
- per conoscere ed applicare curve e superfici per interpolazione ed approssimazione ;
- per gestire un software di disegno automatico bidimensionale e tridimensionale .

### REQUISITI

è richiesta una conoscenza della geometria analitica e dei fondamenti di DOS-Windows.

### PROGRAMMA

*I modulo: LE BASI DEL DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE ED IL DISEGNO MECCANICO (50%)*

#### 1.1) Introduzione al disegno (2 ore)

- Il Disegno come linguaggio grafico per la comunicazione di informazioni tecniche
- La collocazione del disegno nel ciclo di vita del prodotto
- Il disegno assistito dal Calcolatore
- L'unificazione dei disegni ed il formato dei fogli

#### 1.2) Le proiezioni ortogonali (4 ore)

- Le proiezioni di punti, segmenti e figure
- Le proiezioni di solidi
- Le sezioni
- Le norme di rappresentazione

#### 1.3) Le proiezioni assonometriche (2 ore)

- Il teorema di Pohlke
- Le assonometrie ortogonali ed oblique

#### 1.4) Cenni sulle lavorazioni meccaniche (2 ore)

- Le lavorazioni per asportazione di truciolo e per deformazione plastica

#### 1.5) La quotatura (2 ore)

- La quotatura funzionale e la quotatura tecnologica
- La disposizione delle quote

#### 1.6) La rappresentazione degli errori (10 ore)

- Le tolleranze dimensionali
- Il sistema unificato ISO di tolleranze
- I collegamenti foro-base ed albero-base
- La misura della rugosità

- Le tolleranze geometriche
- I riferimenti
- Il principio del Massimo Materiale
- Cenni di Metrologia meccanica
- I criteri di misura e di accettazione del pezzo

1.7) I collegamenti filettati (4 ore)

- Gli elementi filettati: definizioni
- I profili delle filettature ed i loro usi
- I dispositivi antisvitamento

1.8) I collegamenti meccanici(4 ore)

- Le chiavette e le linguette
- I profili scanalati
- Le spine e gli anelli elastici
- Le chiodature e le saldature

*Il modulo: IL DISEGNO ASSISTITO (50%)*

2.1) Le trasformazioni prospettiche (6 ore)

- Le trasformazioni nel piano e nello spazio
- Gli algoritmi per la prospettiva centrale e parallela

2.2) L'Interpolazione e l'Approssimazione (6 ore)

- Le curve parametriche cubiche e di Bezier
- Le superfici parametriche bicubiche e di Bezier

2.3) Le applicazioni grafiche per la comunicazione (2 ore)

- I Diagrammi, i Nomogrammi e gli Istogrammi
- I fogli di calcolo ed il plottaggio dei dati

2.4) I software grafici bi e tridimensionali (6 ore)

- Le primitive bidimensionali
- L' editing
- I blocchi ed i tratteggi
- La quotatura e le tolleranze
- Le primitive tridimensionali
- La modellazione solida

**LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

I Modulo: esercitazioni in aula

- Rappresentazione di elementi meccanici in assonometria ed in proiezione ortogonale (10 ore)
- Rappresentazione in proiezione ortogonale quotata di elementi meccanici singoli o estratti da complessivi (20 ore)

II MODULO: esercitazioni al Laib

- Rappresentazione di curve e superfici parametrizzate mediante software grafico dedicato (10 ore)
- Rappresentazione di elementi meccanici mediante software grafico dedicato (30 ore)

**BIBLIOGRAFIA**

Chirone E., Tornincasa S., *Disegno Tecnico Industriale*, il Capitello, Torino, 1997.

Kalameja A.J., *The AutoCAD tutor*, DELMAR, Albany, 1989;

Testi ausiliari :

Orlando M., Podda G., *Lineamenti di disegno automatico*, parte II, CLUT, Torino, 1994 ;

Krishnan G.V., Rhea R.A., Taylor J.E., *Harnessing Microstation vers.5*, Delmar, Albany, 1994.

Mortenson M.E., *Modelli Geometrici*, Mc Graw-Hill, Milano, 1989

## **ESAME**

L'esame consiste in una prova grafica (2 ore), una prova teorica (45'), una prova di disegno assistito (1 ora) ed una valutazione delle esercitazioni (tavole) svolte durante il corso. È previsto un esonero dalla prova grafica e dalla prova di disegno assistito mediante accertamenti eseguiti durante il corso.

## **ACQUISITI**

Il termine è una conoscenza della geometria descrittiva

## **ATTIVITÀ**

Il termine è una conoscenza della geometria descrittiva

1.1

1.1.1 Introduzione al disegno 2D

- Il disegno 2D come linguaggio grafico
- La carta e la scala del disegno nel caso di proiezione ortogonale
- Il disegno 2D con il CAD
- Il disegno 2D con il CAD

1.1.2 Le proiezioni ortogonali

- Le proiezioni di punti, segmenti e linee
- Le proiezioni di poligoni
- Le proiezioni di solidi
- Le proiezioni di superfici

1.1.3 Le proiezioni isometriche

- Le proiezioni isometriche
- Le proiezioni isometriche
- Le proiezioni isometriche

1.1.4 Le proiezioni di solidi

- Le proiezioni di solidi
- Le proiezioni di solidi
- Le proiezioni di solidi

1.1.5 Le proiezioni di superfici

- Le proiezioni di superfici
- Le proiezioni di superfici
- Le proiezioni di superfici

## **Q7210 ELETTRONICA INDUSTRIALE**

Anno: 4                      Periodo: 1  
Impegno (ore totali)    lezione: 80            esercitazione: 20  
Docente:                    da nominare

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso intende presentare i fondamenti della Elettronica a futuri ingegneri nucleari. Dopo una esposizione degli elementi necessari per comprendere la struttura e il funzionamento dei principali "sistemi elettronici" allo stato di sviluppo attuale (Ia parte: ca. 60% del carico didattico e di studio), si pone l'accento sui circuiti e sulle apparecchiature elettroniche di maggiore interesse per la tecnica nucleare (IIa parte: ca. 40% del carico didattico e di studio). La conoscenza dei contenuti della Ia parte è premessa indispensabile per potere seguire un corso con i contenuti della II parte. Requisiti Nozioni propedeutiche indispensabili sono quelle oggetto di un normale corso di Elettrotecnica generale.

### **PROGRAMMA**

#### **1. FONDAMENTI DI ELETTRONICA. (60 %)**

Richiami di nozioni generali: definizioni (sistema, circuito, componente, etc.), sorgenti di tensioni e correnti, componenti (passivi e reattivi), leggi dei circuiti. Gli amplificatori operazionali. L'amplificatore operazionale ideale come sistema I/O, in funzionamento lineare e non lineare. L'amplificatore operazionale reale. Il calcolatore analogico. Componenti a semiconduttori: diodi a giunzione, transistori unipolari (FET), transistori bipolari (BJT), tiristori. Modelli circuitali dei diodi e dei transistori. Reazione positiva e negativa nei sistemi elettronici. Oscillatori. Amplificatori per grandi e piccoli segnali. Risposta in frequenza degli amplificatori. Elettronica digitale. Algebra di Boole, porte logiche, famiglie logiche.

#### **2. ELETTRONICA DELLE TECNICHE NUCLEARI. (40 %)**

Applicazioni della elettronica digitale: multivibratori, demoltiplicatori (contatori), registri. Elettronica della tecnica nucleare. Elementi base di una catena di conteggio: amplificatori per impulsi, circuiti di coincidenza e anticoincidenza, discriminatori integrali e differenziali. Conversione ampiezza-tempo. Conversione analogica-digitale e digitale-analogica. Misuratori di cadenza di conteggio. Alcuni problemi della strumentazione degli impianti nucleari.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni consistono nella discussione in classe di problemi di carattere applicativo, svolti in classe o proposti per lo svolgimento a casa.

### **BIBLIOGRAFIA**

All'inizio del corso viene messa a disposizione degli Allievi una copia riproducibile di note manoscritte che coprono la maggior parte del programma. Due utili riferimenti (che contengono solo taluni argomenti della IIa parte) possono essere ( complementari tra loro):  
*P.H.Beards: Elettronica analogica e digitale - Corso completo. Gruppo Editoriale Jackson, Milano 1990.*  
*R.J.Smith, R.C.Dorf: Circuits, Devices and Systems, 5th edition. John Wiley & Sons, 1992.*

### **ESAME**

Consiste in due prove scritte: lo svolgimento di un tema di carattere teorico senza materiale di riferimento e, immediatamente dopo, la risoluzione di uno o più problemi, con libera consultazione di libri, note ecc. Eventuale successivo accertamento orale se il candidato, che abbia riportato una votazione media o bassa dello scritto, lo desidera.

## Q1790 ELETTROTECNICA

Anno: 3	Periodo: 2		
Impegno (ore totali)	lezione: 70	esercitazione: 24	laboratorio: 11
Docente:	<b>Edoardo BARBISIO</b> (Dipartimento: Ingegneria Elettrica Industriale)		

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Scopo del corso è fornire i fondamenti dell'analisi dei circuiti elettrici e della teoria dei campi, evidenziandone le interconnessioni metodologiche d'approccio. Se ne mostra l'impiego nei modelli di alcune fondamentali macchine statiche e rotanti e degli impianti di distribuzione dell'energia elettrica. Il corso è costituito da tre moduli

### REQUISITI

Corsi propedeutici consigliati: Analisi I e II, Fisica I e II, Geometria.

### PROGRAMMA

I modulo: CIRCUITI (50%)

Impegno (ore totali) lezione: 37 esercitazione: 10 laboratorio: 6

Reti elettriche a costanti concentrate (reti di multipoli): teoremi generali di vincolo per tensioni e correnti. Teorema di Tellegen. Impulso di tensione e di corrente. Potenza ed energia. Strumenti di misura: modalità di inserzione. (6 ore).

Caratteristica grafica di un bipolo. Punto di lavoro. Composizioni grafiche di caratteristiche per reti di bipoli in serie/parallelo. Diodo ideale. Adattamento di carico. (3 ore).

Bipoli ideali elementari attivi e passivi: generatori di tensione e di corrente, resistore, induttore, condensatore. Serie e parallelo di bipoli elementari omologhi. Partitore di tensione e di corrente. Dualità. Bipoli ideali: generatori pilotati, trasformatore ideale, induttori mutuamente accoppiati. Modelli elementari di bipoli reali attivi e passivi. (6 ore).

Soluzione analitica di reti lineari serie/parallelo in regime stazionario: principio di sovrapposizione degli effetti, teoremi di Thévenin e Norton, teorema di Millman. Reti a ponte. Trasformazione stella/triangolo. (6 ore).

Grandezze periodiche. Grandezze ad andamento sinusoidale permanente. Operazioni algebriche ed integro-differenziali su grandezze sinusoidali, fasori. Operatori: impedenza e ammettenza. Potenza in regime sinusoidale. (4 ore).

Studio analitico e grafico di reti lineari serie/parallelo in regime sinusoidale permanente. Circuiti risonanti. Diagrammi polari e di Bode. Rifasamento monofase. (6 ore).

Circuiti RC ed RL ad una costante di tempo. Reti lineari in regime transitorio d'ordine superiore al primo. Calcolo rapido delle pulsazioni proprie. Relazioni tra pulsazioni proprie ed elementi costitutivi di una rete. Calcolo del termine forzante. Caso della risonanza. (6 ore).

II modulo: CAMPI STAZIONARI E QUASI STAZIONARI (20%)

Impegno (ore totali) lezione: 13 esercitazione: 6 laboratorio: 1

Campi stazionari di corrente: uniforme, cilindrico, sferico. Proprietà integrali e locali. Potenza volumica. Rifrazione delle linee di campo. Impianti di messa a terra: indicazioni sul progetto ed il collaudo. Dimensionamento e protezione dei conduttori. Interruttori magnetotermici e differenziali. (4 ore).

Campi stazionari nei dielettrici: uniforme, cilindrico, sferico. Proprietà integrali e locali. Energia volumica. Rifrazione delle linee di campo. Rigidità dielettrica. (2 ore).

Campo magnetico stazionario e quasi stazionario. Proprietà integrali e locali. Energia volumica. Campo provocato da conduttori rettilinei indefiniti percorsi da corrente. Campo in un toroide. Ciclo d'isteresi. Perdite per isteresi. Energia magnetica volumica. Rifrazione delle linee di campo. Analogie tra campi magnetici e di corrente: circuiti magnetici. Induttori con traferro. Induttori saturabili. Circuiti con magneti permanenti. (7 ore).

III modulo: IMPIANTI E MACCHINE (30%)

Impegno (ore totali)    lezione: 20    esercitazione: 8    laboratorio: 4

Sistemi trifasi simmetrici ed equilibrati. Misure di potenza con inserzione Aron. Rifasamento trifase. Confronto tra sistemi monofasi e trifasi per il trasporto dell'energia. Carichi squilibrati. Cenni alle deformazioni di tensioni/correnti nei sistemi simmetrici con carichi non lineari. (6 ore).

Legge d'induzione elettromagnetica. Perdite per correnti parassite. Azioni elettromeccaniche. Strumenti di misura basati su azioni elettromeccaniche. Relè polarizzati. Interruttori magneto-termici. (5 ore)

Trasformatore/autotrasformatore monofase e trifase: cenni costruttivi e circuito equivalente completo. Prova a vuoto e in corto circuito. Dati di targa. Variazione di tensione sotto carico. Parallelo di trasformatori. (5 ore).

Campo magnetico rotante. Macchina ad induzione trifase e monofase: cenni costruttivi e circuiti elettrici equivalenti. Caratteristiche meccanica ed elettromeccanica. Metodi di avviamento dei motori asincroni trifasi e monofasi. (4 ore).

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

*Laboratori:* (Totale: 11 ore)

*Misure:* Rilievo della caratteristica grafica di un bipolo non lineare. Prova a vuoto e in corto circuito su un trasformatore monofase. Misure su un impianto di messa a terra. Misure su un motore asincrono trifase. (4 ore).

*Simulazioni con elaboratore numerico:* Uso del programma PSpice per l'analisi dei circuiti elettrici. (7 ore).

*Esercitazioni:* (Totale: 24 ore)

Consistono in Esercizi ed Approfondimenti sugli argomenti trattati nelle lezioni.

Sono inoltre previste 24 ore di Tutoraggio (Svolgimento di esercizi da parte degli allievi con assistenza di docenti)

## **BIBLIOGRAFIA**

Appunti forniti dal docente.

S.Chapman: "Macchine elettriche". Jackson, Milano.

G.Fabrizatore: "Elettrotecnica e applicazioni". Liguori, Napoli.

V.Daniele, A.Liberatore, R.Graglia, S.Manetti: "Elettrotecnica". Monduzzi, Bologna

G.Fiorio: *Raccolta di esercizi di Elettrotecnica*. CLUT, Torino.

M.E.Herniter: *Schematic Capture with MicroSim Pspice*. Prentice Hall.

K.Küpfmüller: "Fondamenti di elettrotecnica". UTET, Torino.

A.Laurentini, A.R.Meo, R.Pomè: *Esercitazioni di Elettrotecnica*. Levrotto & Bella.

G.Someda: "Elettrotecnica generale". Patron, Padova.

## **ESAME**

L'esame consiste di una prova scritta seguita da una orale.





### III modulo: LE NUOVE TECNOLOGIE (10 %)

3.1. *Situazione attuale e prospettive per impianti e sistemi provati e per proposte innovative dal punto di vista tecnologico e ambientale. La maturità tecnologica e commerciale. La competizione tra tecnologie antagoniste.*

3.2. *Analisi dello stato dell'arte dei seguenti sistemi:*

i cicli del carbone,

i cicli dell'idrogeno,

le celle a combustibile,

i reattori nucleari avanzati,

i reattori nucleari a sicurezza intrinseca,

le fonti rinnovabili.

3.3. *Analisi del ciclo dei reattori nucleari a fissione:*

bilanci massa-energia per l'intero ciclo

valutazioni relative all'impatto ambientale

confronti con altri cicli energetici

3.4 *Problemi tecnologici dei reattori a fusione a confinamento magnetico*

### IV modulo: I MODELLI PER L'ANALISI DEI SISTEMI ENERGETICI (20 %)

4.1. *Modelli per la valutazione delle caratteristiche tecnologiche, economiche ed ambientali dei sistemi energetici alle varie scale di analisi.*

4.2. *Struttura e finalità di alcuni programmi e codici per l'analisi energetica e la redazione di ecobalanci (GRAFENE, TEMIS) e per la programmazione lineare in scenari evolutivi (MARKAL).*

4.3 *I Data-Base sui cicli energetici*

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI (20 %)**

Le esercitazioni riguardano:

*nella prima parte del corso: l'analisi di un sistema energetico a scala territoriale*

*nella seconda parte del corso: l'analisi di un particolare ciclo energetico o di un sistema tecnologico o di un sistema territoriale con l'utilizzo di programmi e codici descritti nel corso; la modellizzazione di un ciclo energetico nucleare.*

Nel Laboratorio Didattico di Analisi e Modelli Energetici (LAME) si svolgeranno applicazioni al computer di alcuni modelli di analisi integrale tecnico-economico-ambientale.

Sono previsti seminari di esperti in modellazione di sistemi energetici.

## **BIBLIOGRAFIA**

Culp, A.W.: *Principles of Energy Conversion Technologies*, Mc Graw-Hill, New York, 2nd ed. 1991.

Eichholz, G.G.: *Environmental Aspects of Nuclear Power*, Ann Arbor Science, 1976.

*Altra documentazione, con i relativi riferimenti bibliografici, sarà messa a disposizione dal docente.*

## **ESAME**

Il colloquio d'esame comprende la discussione degli elaborati di esercitazione e laboratorio didattico.

Anno: 3	Periodo: 2	
Impegno (ore sett.)	lezione: 6	esercitazione: 4
Docente:	<b>Silvio E. CORNO</b> (Dipartimento di Energetica)	

**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Questo corso integrato, fondamentale per tutti gli allievi nucleari, inizia con un modulo propeudeutico sui metodi fisico-matematici della neutronica, che vengono analizzati con l'intento di evidenziare il loro effettivo significato fisico e il loro collegamento con le misurazioni sperimentali. Ciò allo scopo di renderne comprensibili le implicazioni della teoria sia nel progetto ingegneristico delle centrali a fissione attuali e di nuova generazione, sia nel dimensionamento neutronico dei blankets per i reattori a fusione e nello sviluppo di nuove apparecchiature biomedicali.

*Il modulo di Fisica dei reattori a fissione* si prefigge di chiarire i principi di funzionamento di tali impianti e i meccanismi di generazione controllata di energia nucleare. Con particolare riguardo al bilancio neutronico, all'intrattenimento della reazione a catena, alla distribuzione spaziale della potenza, sia in condizioni statiche che dinamiche. Vengono studiati i principi del controllo delle centrali a fissione convenzionali e le peculiarità dei reattori sottocritici, sia nella generazione di energia che nella trasmutazione di scorie radioattive a vita lunga.

*Il modulo di Elettrodinamica e fisica dei reattori a fusione* si propone di fornire gli elementi di base della teoria fisico-matematica che descrive il funzionamento delle macchine con cui si tenta di realizzare la fusione nucleare controllata. L'enfasi è posta sui fondamenti dell'elettrodinamica classica e della fluidodinamica dei continui ionizzati, analizzando le orbite delle particelle cariche in campo magnetico e i fenomeni collettivi nei plasmi.

L'approccio metodologico di questo corso integrato vuole essere formativo più che informativo: ciò al fine di permettere all'allievo di mettersi in grado di affrontare autonomamente una vasta gamma di problemi e modellizzazioni fisico-matematiche, che si incontrano anche in altri svariati campi della ricerca industriale. Gli argomenti trattati, che pur fanno parte del patrimonio culturale strettamente indispensabile all'Ingegnere Nucleare, potrebbero fornire, anche a cultori di altri settori dell'ingegneria e della fisica, quegli stimoli culturali e quelle metodologie di base trasversali, che sono utili per affrontare problematiche di ricerca in svariati settori delle scienze applicate.

**PROGRAMMA**

*I modulo: METODI FISICO-MATEMATICI DELLA NEUTRONICA (30%)*

Interazione dei neutroni con la materia.

Teoria della diffusione neutronica e cenni alla teoria del rallentamento nei mezzi materiali; moderatori e mezzi moltiplicanti.

Equazione di diffusione monocinetica dipendente dal tempo; metodi a multigruppi energetici.

Cenni al collegamento tra teorie di tipo diffusivo e trasportistico.

Interpretazione di esperimenti di tipo esponenziale e pulsato per la misura dei parametri neutronici fondamentali dei materiali.

*II modulo: FISICA DEI REATTORI A FISSIONE (40%)*

Fissione dei nuclei pesanti: bilancio energetico; fondamenti concettuali della teoria di una generica reazione a catena. I neutroni come portatori della catena; classificazione dei reattori a fissione.

Diffusione e rallentamento dei neutroni nei mezzi moltiplicanti: popolazioni neutroniche intrattenute da sorgenti oppure autosostentantesi.

Teoria della criticità delle strutture moltiplicanti: problemi agli autovalori. Equazioni critiche dei reattori omogenei, nudi e riflessi, in diverse approssimazioni.

Cenni ai teoremi fondamentali della fisica dei reattori.

Reattori eterogenei: necessità ed effetti dell'eterogeneità. Cature in risonanza e moltiplicazioni veloci; utilizzazione dei neutroni termici nei reticoli. Sistemi sottocritici iniettati: amplificatori neutronici e amplificatori di energia.

Cinetica delle strutture moltiplicanti: influenza dei neutroni ritardati; equazioni dinamiche in diverse approssimazioni; cenni alle retroazioni di temperatura e di densità del combustibile e del moderatore.

Metodi perturbativi nella statica e nella dinamica: funzione importanza dei neutroni; applicazioni ad uno e due gruppi energetici.

Controllo della reazione a catena: teoria elementare delle barre di controllo; nozioni di base sulla stabilità; implicazioni neutroniche del concetto di sicurezza intrinseca nei reattori a fissione.

### *III modulo: Elettrodinamica e Fisica dei Reattori a Fusione (30%)*

Fondamenti di elettrodinamica classica: equazioni di Maxwell; potenziali elettrodinamici; teoremi di conservazione dell'energia e dell'impulso; emissione e propagazione dell'energia radiante.

Metodi di soluzione dell'equazione delle onde.

Orbite di particelle cariche in presenza di campo elettromagnetico esterno.

Fusione dei nuclei leggeri: tipi di reazioni sfruttabili nell'energetica industriale; bilanci energetici e criteri di ignizione.

Concetto di plasma; applicazioni dei plasmi.

Formulazione delle equazioni di base della magnetofluidodinamica ed esempi applicativi.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni prevedono applicazioni sia di tipo teorico che numerico, da svolgersi anche a gruppi.

## **BIBLIOGRAFIA**

B. Montagnini, *Lezioni di fisica del reattore nucleare*, Università di Pisa, 1983.

A.F. Henry, *Nuclear reactor analysis*, MIT Press, Cambridge, USA, 1975.

S.E. Corno, *Appunti alle lezioni del corso di Fisica dei Reattori a Fissione e a Fusione*.

F.F. Chen, *Plasma Physics and Controlled Fusion*, Plenum, New York, USA, 1984.

R.J. Goldston, P.H. Rutherford, *Introduction to Plasma Physics*, IOP Publishing, Bristol, 1995.

R. Pozzoli, *Fisica del plasma termonucleare e astrofisico*, CLUED, Milano, 1984.

## **Q2024      FISICA E INGEGNERIA DEI PLASMI (r)**

(Corso ridotto)

Anno: 5	Periodo: 2 (marzo-maggio)
Impegno (ore totali)	lezione/esercitazione: 50 (8 ore settimanali)
Docente:	<b>Franco PORCELLI</b> (Dipartimento di Energetica)

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

La Fisica dei Plasmi è un argomento interdisciplinare per eccellenza. Tale materia è alla base di fenomeni a prima vista molto distanti tra di loro, in Astrofisica, nella ionosfera e nello spazio geofisico, e in plasmi di laboratorio. Svariate sono le applicazioni dei plasmi: la tecnologia dei semiconduttori e dei circuiti integrati, il trattamento delle superfici, la produzione di nuovi composti chimici e di nuovi materiali, le torce al plasma per la termodistruzione dei rifiuti tossici, i *display* a plasma, l'illuminotecnica, la conversione diretta di elettricità mediante processi magnetoidrodinamici, la propulsione spaziale, lo sviluppo di laser compatti a raggi X, lo studio di nuovi possibili acceleratori di particelle, la fusione termonucleare controllata. I plasmi sono gas ionizzati, dove le cariche libere producono campi elettromagnetici i quali a loro volta, agendo a grandi distanze e su tempi anche più brevi dei tempi medi collisionali, influenzano il moto delle cariche stesse. È questo ciò che s'intende per comportamento collettivo del plasma. La Fisica del Plasma nasce quindi come disciplina a cavallo tra l'Elettromagnetismo, la Fluidodinamica, la Fisica Cinetica e Statistica e la Fisica Atomica e Molecolare. I plasmi sono sistemi complessi, altamente turbolenti e nonlineari, ed in quanto tali la loro modellizzazione ha dato stimolo allo sviluppo di tecniche matematiche e di metodi numerici.

### **REQUISITI**

Fisica generale, Elettromagnetismo  
Per il II e il III Modulo: I Modulo

### **PROGRAMMA**

*I modulo: CONFINAMENTO MAGNETICO (20%)*

*Impegno (ore)                      lezione ed esercitazione: 10*

*Orbite e confinamento magnetico*

Definizione di plasma (ripasso). Elementi di teoria cinetica (ripasso). Orbite in campo magnetico uniforme. Diffusione collisionale in plasmi magnetizzati. Moti di deriva. Campo magnetico statico non uniforme. Invarianza adiabatica del momento magnetico. Specchi e bottiglie magnetici.

*Il Tokamak*

Schema di funzionamento. Fisica dei plasmi Tokamak. Derivazione dei parametri fisici caratteristici. Evidenze sperimentali.

*Il modulo: MAGNETOIDRODINAMICA (60%)*

*Impegno (ore)                      lezione ed esercitazione: 30*

*Modelli fluidi: il modello MHD ideale.*

Momenti dell'equazione cinetica. Leggi di conservazione. Limite non collisionale. L'equazione di Vlasov. Il modello CGL. Il modello magnetoidrodinamico (MHD) ideale. Legge di congelamento delle linee di campo. La forza  $\mathbf{J} \times \mathbf{B}$ . Onde di Alfvén. Onde acustiche e magnetoacustiche.

*Equilibrio e stabilità MHD.*

Magnetostatica. Energia cinetica e potenziale di un plasma. Energia delle onde MHD. Il funzionale energia potenziale. Il principio dell'energia. Classificazione delle instabilità.

*Il modello MHD resistivo.*

Introduzione alle instabilità resistive. Numero di Reynolds magnetico. Perturbazioni singolari. Strati limite. Tecnica del raccordo asintotico per la risoluzioni di equazioni differenziali. Modelli ridotti. Analisi delle piccole perturbazioni. Instabilità resistive: tassi di crescita, celle di convezione, isole magnetiche.

*Chaos magnetico*

Hamiltoniana per il campo magnetico. Caso integrabile. Perturbazioni risonanti e riconnessione magnetica. Sequenza di biforcazioni del modello MHD resistivo ridotto. Perturbazioni a elicità multipla. Il criterio di Chirikov. Trasporto di particelle in campi magnetici stocastici. Relazione con i dati sperimentali.

*III modulo: ONDE (20%)*

*Impegno (ore) lezione ed esercitazione: 10*

*Onde elettromagnetiche nei plasmi*

Il plasma come dielettrico. Limite di plasma freddo. Relazioni di dispersione. Onde in plasmi uniformi magnetizzati. Onde nello spazio. Riscaldamento del plasma mediante onde di ciclone elettroniche.

## **BIBLIOGRAFIA**

Dispense a cura del docente titolare.

G. Schmidt, *Physics of High Temperature Plasmas*, 2nd ed., Academic Press, 1979.

J. Freidberg, *Ideal MHD*, Plenum Press, New York, 1987.

## **ESAME**

Orale. Parte del corso è a carattere seminariale; di questa parte, gli studenti porteranno all'esame un argomento a scelta.

## **Q1901      FISICA GENERALE I**

Anno: 1	Periodo: 2		
Impegno (ore totali)	lezione: 60	esercitazione: 30	laboratorio: 10
Docente:	<b>Felice IAZZI</b>		

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone di fornire i primi rudimenti della teoria della misura, gli elementi per la comprensione delle leggi classiche di: meccanica del punto e dei sistemi, statica, fisica dei fluidi, termodinamica; di fornire inoltre gli strumenti per la soluzione dei relativi problemi.

### **REQUISITI**

*I Modulo:* è opportuno che lo studente abbia seguito il corso di Analisi I e segua in contemporanea il corso di Geometria

*II Modulo:* lo studente deve aver seguito il modulo A

### **PROGRAMMA**

*I modulo: DINAMICA DEL PUNTO E CALORIMETRIA (60%)*

(1) Teoria della misura e degli errori (Misure e grandezze fisiche, sistemi di unità di misura ed equazioni dimensionali, errore di misura assoluto e relativo, errore diretto ed indiretto, propagazione dell'errore; concetto probabilistico del valore medio e dello scarto quadratico medio; cenno al teorema del limite centrale, istogrammi)

(2) Cinematica (sistemi di riferimento, grandezze vettoriali e loro componenti nei sistemi cartesiani, vettore posizione, vettore velocità e vettore accelerazione, equazioni del moto; caduta dei gravi, coordinate intrinseche e coordinate cilindriche, II legge di Keplero, III legge di Keplero per orbite circolari; moti relativi; applicazioni dell'accelerazione di Coriolis sulla Terra: caduta dei gravi verso oriente ed erosione delle sponde dei fiumi)

(3) Dinamica del punto ( punto fisico, massa e densità di massa, forza, definizione statica, principali tipi di forze: gravitazionale, elettrostatica, di attrito, vincolare, di funi, elastica; i 3 principi della dinamica, forze fittizie in sistemi di riferimento non inerziali, diagramma di corpo libero.

(4) Conservazioni (quantità di moto, impulso e teorema dell'impulso, lavoro, energia e teorema del lavoro, forze conservative, energia potenziale, energia meccanica, principali tipi di forze conservative, momento angolare e momento della forza)

(5) Calorimetria (calore e temperatura, calori specifici, energia interna, I e II principio della termodinamica)

*II modulo: DINAMICA DEI SISTEMI (40%)*

(6) Sistemi (Sistemi di punti discreti e continui, forze interne ed esterne, centro di massa, I e II equazione della dinamica dei sistemi, teorema dell'impulso, lavoro ed energia, urti elastici ed anelastici, sistemi a massa variabile, corpo rigido, moto rototraslatorio attorno ad un asse a direzione fissa; statica dei sistemi, condizioni necessarie e sufficienti per l'equilibrio; cenni sulla forza di Lorentz)

(7) Fisica dei fluidi, (teoremi di Stevino e Bernoulli e loro applicazioni)

(8) Termodinamica (Applicazioni del I principio ai gas perfetti, espansioni e compressioni reversibili, ciclo di Carnot e macchina di Carnot, rendimento, equivalenza degli enunciati di Clausius e Kelvin, teorema di Carnot, entropia)

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Esercitazioni

In aula: esercizi applicativi sul programma svolto

Laboratorio I Modulo

*In laboratorio di fisica: misure ripetute del tempo di caduta di un grave*

*Al LAIB: trattazione statistica dei dati mediante DATA BASE*

Laboratorio II Modulo

Progetto semplificato di un anello di accumulazione,

oppure:

Progetto semplificato di un separatore elettrostatico per fasci di particelle elementari ad energia bassa ed intermedia

## **BIBLIOGRAFIA**

S. ROSATI, Fisica generale I, Ed. CEAM

*Per consultazione:*

M. ALONSO e E.J. FINN,, Fisica, Vol. 1, Ed. Masson

*Per le esercitazioni*

S. ROSATI e C. Casali Problemi di Fisica generale I, Ed. CEAM

## **ESAME**

Ogni appello d'esame è costituito da una prova scritta ed una orale; immediatamente dopo la conclusione della prova scritta avviene la correzione alla lavagna e chi ritiene può ritirarsi: chi non si ritira accede alla prova orale, indipendentemente dal risultato dello scritto, che sarà considerato come uno degli elementi del giudizio finale.

Durante la prova scritta è ammessa la consultazione di testi ed appunti.





Il modulo: FENOMENI ONDULATORI (47%)

Impegno (ore)                    lezione: 36                    esercitazione: 16

Interazione onda Elettromagnetica con la materia. [8 ore]

Analisi qualitativa del corpo nero, ipotesi di Planck. Quantizzazione dell'energia elettromagnetica: effetto fotoelettrico. Propagazione onde elettromagnetiche nella materia: dispersione, velocità di fase e di gruppo.

Onda elettromagnetica in un mezzo :risposta in frequenza (indice di rifrazione complesso).

*Ottica geometrica* [8 ore]

Leggi della riflessione e della rifrazione: Legge di Snell. Coefficienti di riflessione e trasmissione. Specchi, diottri, lenti. Strumenti ottici.

*Fenomeni ondulatori.* [10 ore]

Interferenza di onde prodotte da 2 sorgenti. Coerenza. Interferenza da N sorgenti coerenti, da lamine. Onde stazionarie. Diffrazione: fenomeni di Fraunhofer da una fenditura. Potere separatore. Reticolo di diffrazione e calcolo del suo potere separatore. Diffrazione da cristalli, di raggi X. Polarizzazione della luce. Sostanze dicroiche. angolo di Brewster, attività ottica. Onda E.M. in mezzi anisotropi. Elissoide di Fresnel, lamina birifrangente.

*Struttura della materia.* [10 ore]

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

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

### **I MODULO**

*Laboratorio* [ 4 ore]

1. Misura di resistenza con ponte di Wheatstone e di temperatura con sensore PT100.
2. Studio delle oscillazioni forzate in un circuito RLC mediante uso di oscilloscopio e generatore di segnali, e simulazioni al calcolatore di transistori in circuiti RC e RLC

*Esercitazioni* [14 ore]

Esercizi svolti in aula su argomenti trattati nel corso.

### **II MODULO**

*Laboratorio* [4 ore]

1. Misura dell'indice di rifrazione con il metodo del prisma.
2. Misura di lunghezza d'onda della luce mediante reticolo di diffrazione e misura di indice di rifrazione mediante luce polarizzata e angolo di Brewster (con rivelatore a fotodiodo);

*Esercitazioni* [12 ore]

Esercizi svolti in aula su argomenti trattati nel corso.

## **BIBLIOGRAFIA**

Testi di riferimento:

Amaldi, Bizzarri, Pizzella, *Fisica generale*, Zanichelli.

P. Mazzoldi, M. Nigro, C. *Voci Fisica Vol. II.*

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

Testi ausiliari:

Tartaglia, *Esercizi svolti di elettromagnetismo e ottica*, Levrotto e Bella, Torino.

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

## ESAME

- a) L'esame consta di una prova scritta e una orale, contestuali.
- b) Lo studente che intende sostenere l'orale deve prenotarsi facendo uso del calcolatore presso il Dipartimento di Fisica entro il giorno precedente quello dello scritto. Non occorre prenotarsi per lo scritto.
- c) Lo statino deve essere presentato all'atto di sostenere l'esame orale.

## Q2030      **FISICA MATEMATICA**

Anno: 4

Periodo: 2

Impegno (ore sett.)

lezione: 6      esercitazione/seminari: 2

Docente:

**Guido RIZZI** (Dipartimento di Fisica)

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Argomento del corso: Introduzione alla Relatività Speciale (RS). Concedendo uno spazio relativamente ampio a questioni di carattere metodologico, il corso intende: (a) proporre una visione sintetica, rigorosa e concettualmente semplice di un ampio dominio della Fisica moderna; (b) familiarizzare lo studente con una mentalità, un linguaggio, una metodologia che gli consentano sia di approfondire la propria cultura scientifica, sia di rendere possibile e fruttuosa un'eventuale collaborazione con i fisici, a livello di ricerca.

Argomento ulteriore, facoltativo, da tenersi in ambito seminariale e destinato essenzialmente al dottorato: Introduzione alla Relatività Generale (RG).

### **REQUISITI**

Nozioni propedeutiche: Analisi Matematica I e II, Fisica I e II, Meccanica Analitica (oppure Meccanica Razionale), Geometria, Complementi di Matematica.

### **PROGRAMMA**

*I modulo (50%)*

*Impegno (ore): 54*

*Introduzione matematica.*

Vengono anzitutto introdotte le tecniche matematiche adatte allo studio della RS e della RG, con particolare riguardo al calcolo tensoriale in varietà riemanniane curve (alcuni argomenti, specificamente finalizzati alla RG, saranno svolti in sede seminariale nella parte IV).

Spazi e varietà lineari (richiami). Forme lineari. Spazio duale e spazio biduale. Covarianza e controvarianza. Isomorfismo canonico. Forme multilineari ("tensori"). Algebra tensoriale. Spazi vettoriali con prodotto interno; tensore metrico. Identificazione di uno spazio vettoriale (con prodotto interno) col suo duale. Spazio affine. Spazio affine euclideo; spazio strettamente euclideo e spazio pseudoeuclideo (di Minkowski). Cenni sulle varietà riemanniane.

In ambito (prevalentemente) seminariale: Varietà differenziabili. Struttura differenziabile e struttura topologica di una varietà. Paracompattatezza. Spazio tangente e cotangente; forme differenziali. Fibrato tangente e cotangente (cenni). Campi (vettoriali e tensoriali) differenziabili. Commutatore, algebra di Lie e derivata di Lie. Varietà differenziabili a connessione affine. Trasporto parallelo. Connessioni simmetriche e torsione. Geodetiche. Derivazione covariante. Tensore di curvatura. Varietà riemanniane.

Cinematica relativistica.

Si introducono i due principi della RS. La struttura geometrica minkowskiana dello spaziotempo della RS è dedotta in modo univoco da tali principi.

Sistemi inerziali. I due gruppi di invarianza della fisica classica; il riferimento assoluto. Cenni sulle esperienze di Michelson-Morley, di De Sitter e di aberrazione stellare. Difficoltà di interpretazione all'interno del paradigma classico. L'ipotesi dell'etere. L'ipotesi emissiva. Tentativi di soluzione: Lorentz e Einstein. I due principi della RS. La relatività della simultaneità. La trasformazione di Lorentz e le sue conseguenze. Lo spaziotempo minkowskiano della RS. Campi tensoriali e 4-tensoriali nello spaziotempo minkowskiano. 4-velocità e 4-accelerazio-

ne; tempo proprio. Cono di luce. Grafici spaziotemporali; soluzione di alcuni paradossi. Bradioni, fotoni e tachioni. Struttura geometrica e struttura causale dello spaziotempo. Cenni di ottica relativistica (effetto Doppler; esperienza di Fizeau).

*Il modulo (20%)*

*Impegno (ore): 16*

*Dinamica relativistica.*

Nel contesto geometrico dello spaziotempo minkowskiano, introdotto nella I parte, viene studiata la meccanica della particella con massa propria variabile. Tale studio viene esteso ai sistemi di particelle e ai continui materiali, anche in presenza di interazioni a distanza (ciò richiede l'introduzione del concetto di "campo di interazione"). Particolare attenzione è rivolta ai teoremi di conservazione.

Istituzione di una meccanica relativistica; legge di moto di una particella. I concetti di impulso, massa, forza, energia. Relazione massa-energia, e sue conseguenze. I concetti di momento angolare e centro di massa in RS. Applicazioni: moto di un elettrone in un campo magnetico costante; orbite descritte sotto l'azione di una forza coulombiana (o newtoniana); effetto Compton; urto elastico tra due elettroni. Proporzionalità tra energia di un fotone e frequenza dell'onda associata.

Cenno su alcuni formalismi alternativi della meccanica relativistica.

*III modulo (30%)*

*Impegno (ore): 22*

*Elettrodinamica relativistica.*

In questa parte - che è di particolare rilievo culturale e richiede allo studente un particolare impegno - si istituisce la teoria di Maxwell-Lorentz in forma covariante nello spaziotempo minkowskiano. La teoria è applicata, in particolare, allo studio dell'irraggiamento elettromagnetico di una carica accelerata. Applicazioni: la radiazione di sincrotrone. La formulazione variazionale delle equazioni dell'elettrodinamica conclude il corso.

Formule di Lorentz in forma covariante. Tensore elettromagnetico. Trasformazione dei vettori di campo. Invarianti del campo elettromagnetico. 4-vettore distribuzione elettrica. Equazioni di Maxwell in forma covariante. Equazione di continuità. 4-potenziale del campo elettromagnetico. Irraggiamento elettromagnetico. Tensore energetico. Teoremi di conservazione; energia, impulso, momento angolare del campo elettromagnetico. Bilancio dell'energia in un volume finito. Tensore degli sforzi maxwelliani; analogie con l'elasticità.

Campo elettromagnetico generato da una carica in moto uniforme. Potenziali elettromagnetici generati da una carica in moto qualsiasi (Lienard-Wiechert). Campo elettromagnetico generato da una carica in moto qualsiasi. Trasporto di energia. Radiazione di sincrotrone: distribuzione angolare della potenza irradiata da una carica in moto; potenza totale irradiata da una carica in moto (Larmor). Irraggiamento di una carica in un campo magnetico costante (cenni). Reazione di radiazione (cenni).

Formulazione variazionale delle equazioni fondamentali dell'elettrodinamica relativistica. Generalizzazioni: condizioni per l'esistenza di una formulazione variazionale; particella in un campo di forza derivabile da un 4-potenziale; estensione relativistica dell'equazione di Schrodinger (Klein-Gordon). Cenno sulla teoria relativistica dell'elettrone a spin (Dirac).

*IV modulo*

*Impegno (ore): 20*

*Introduzione alla RG.*

Questa parte, tenuta in ambito seminariale, è consigliata esclusivamente a studenti di dottorato oppure a studenti particolarmente motivati (e un tantino masochisti), anche in considerazione dell'evidente sproporzione tra il notevole impegno richiesto e l'esiguo riconoscimento in crediti.

*Fondamenti matematici della RG.*

Varietà differenziabili. Struttura differenziabile e struttura topologica di una varietà. Paracompattezza. Spazio tangente e cotangente; forme differenziali. Fibrato tangente e cotangente (cenni). Campi (vettoriali e tensoriali) differenziabili. Commutatore, algebra di Lie e derivata di Lie. Varietà differenziabili a connessione affine. Trasporto parallelo. Connessioni simmetriche e torsione. Geodetiche. Derivazione covariante. Tensore di curvatura. Varietà riemanniane.

*Fondamenti fisici della RG.*

Principio di equivalenza e principio di covarianza generale. Red-shift gravitazionale e sue conseguenze sulla struttura geometrica dello spaziotempo. Gravitazione e geometria: il modello matematico dello spaziotempo fisico secondo la RG. Sistemi di riferimento in RG. Equazioni gravitazionali einsteiniane, con e senza costante cosmologica. Approssimazione newtoniana. Soluzione di Schwarzschild.

## **BIBLIOGRAFIA**

G. Rizzi, *Introduzione alla Relatività Speciale*, Politeko, c.Einaudi 55, Torino, 1998

G. Rizzi, *Metodi matematici per la Relatività Generale*, Politeko, c.Einaudi 55, Torino

G. Rizzi, *Introduzione alla Relatività Generale*, *Appunti fotocopiati*, Politeko, c.Einaudi 55, Torino

V. Cantoni, *Appunti di Fisica Matematica*, Veschi Roma, 1983

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

T. Regge, *Relatività*, voce dell'Enciclopedia Einaudi

## Q2040      **FISICA NUCLEARE**

Anno: 3                                  Periodo: 1  
Impegno (ore sett.)                  lezione: 6                                  esercitazione: 4  
Docente:                                  **Piero QUARATI**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso è diviso in 4 moduli

### **PROGRAMMA**

*I modulo: FISICA ATOMICA (20%)*

Fenomenologia dell'atomo, Spettroscopia.

*II modulo: MECCANICA QUANTISTICA (30%)*

Il sistema quantistico, Equazione di Schrodinger, Le osservabili fisiche, Lo spazio delle configurazioni e degli impulsi, Problemi uni e tridimensionali, Forze centrali, Leggi di conservazione in meccanica quantistica.

*III modulo: FISICA DEL NUCLEO (30%)*

Fenomenologia del nucleo, Modelli nucleari, Perdita di energia delle particelle cariche, Decadimenti radioattivi, Reazioni nucleari.

*IV modulo: FISICA SUBNUCLEARE (20%)*

Forze nucleari, Introduzione alle particelle elementari.

### **BIBLIOGRAFIA**

H Haken, H. Wolf, *Fisica atomica e quantistica*, Boringhieri.

W. Meyerhof, *Elements of nuclear physics*, McGraw-Hill (oppure Dunod, francese).

F. Yang, J. Hamilton, *Modern Atomic and Nuclear Physics*, Mc Graw-Hill.

### **ESAME**

Orale. Il primo argomento è scelto dal candidato. La commissione propone altri due argomenti. All'inizio vengono anche sottoposti alcuni esercizi.

## **Q2170      FONDAMENTI DI INFORMATICA**

Anno: 1	Periodo: 2		
Impegno (ore totali)	lezione: 45	esercitazione: 48	laboratorio: 26
Docente:	<b>Riccardo SISTO</b>		

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso intende presentare agli allievi gli elementi fondamentali dell'informatica, sia dal punto di vista hardware, sia da quello software. Il corso è diviso in due moduli al termine di ciascuno dei quali è possibile una separata valutazione.

### **REQUISITI**

Corso di alfabetizzazione informatica

### **PROGRAMMA**

Il programma del corso è diviso in due moduli.

*I modulo: INTRODUZIONE ALL'INFORMATICA E AGLI ELABORATORI (45%)*

Rappresentazione dell'informazione: sistemi numerici; conversione di base; rappresentazione dei numeri con segno; rappresentazione dei numeri frazionari in virgola fissa e in virgola mobile; altri codici binari (BCD, ASCII, Gray, ecc.).

Operazioni algebriche nei principali codici binari.

Algebra di Boole, funzioni logiche e teoremi fondamentali.

Struttura dell'elaboratore elettronico: parti funzionali, cenni tecnologici, classificazione, cenni sulla misura delle prestazioni.

Funzionamento del calcolatore e cenni sul linguaggio macchina.

Unità periferiche: tecnologie e prestazioni dei principali organi periferici di un sistema di elaborazione (cenni).

Linguaggio Assembler (cenni), linguaggi di alto livello, compilatori e interpreti.

Sistemi operativi, multiprogrammazione, sistemi real-time.

Cenni su reti di calcolatori, sistemi informativi, software di utilità.

*II modulo: INTRODUZIONE ALLA PROGRAMMAZIONE IN LINGUAGGIO FORTRAN (55%)*

Tecniche di programmazione (programmazione modulare, programmazione strutturata), linguaggio FORTRAN, sviluppo di programmi.

Strutture informative fondamentali (code, stack, tabelle, ecc.).

Algoritmi fondamentali (sort, merge, ecc.).

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni in aula consistono nello svolgimento di esercizi numerici sugli argomenti del modulo A e nella realizzazione di programmi in linguaggio FORTRAN.

Nelle esercitazioni di laboratorio gli allievi svilupperanno programmi in linguaggio FORTRAN utilizzando il personal computer e i relativi strumenti di programmazione.

### **BIBLIOGRAFIA**

P. DEMICHELIS, E. PICCOLO, *Informatica di base e FORTRAN77*, Levrotto e Bella, 1987.

G. CENA, L. DURANTE, E. PICCOLO, R. SISTO, A. VALENZANO, *Esercizi di Fondamenti di Informatica*, UTET, 1998.

Altri testi:

T.M.R. ELLIS, Programmazione strutturata in FORTRAN77 con elementi di FORTRAN90, Zanichelli, 1995.

C. FORNARO, FORTRAN77 Manuale di riferimento, Celid, 1998.

## ESAME

L'esame è composto da due prove, una relativa al modulo A e l'altra relativa al modulo B.

Al termine del primo emisemestre è possibile sostenere la prova scritta relativa al modulo A, consistente nella risposta a domande e risoluzione di esercizi numerici in un tempo prefissato. In caso di esito favorevole, i contenuti del modulo A non saranno più oggetto di verifica alla fine del semestre. Coloro che non superano la prova scritta relativa al modulo A al termine dell'emisemestre (o che non ritengono di sfruttarne la possibilità) dovranno sostenerla contestualmente con la prova relativa al modulo B.

La prova relativa al modulo B prevede uno scritto di programmazione, nel quale l'allievo dovrà realizzare un programma in linguaggio FORTRAN in un tempo prefissato. L'esame scritto sarà seguito da una verifica orale finale composta dalla discussione dell'elaborato e da un eventuale approfondimento orale sugli argomenti del modulo.



## Q2300 GEOMETRIA

Anno: 1	Periodo: 2	
Impegno (ore sett.)	lezione: 6	esercitazione: 4
Docenti:	<b>Paolo VALABREGA</b> (I corso), <b>Carla MASSAZA</b> (II corso)	

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Nel corso vengono introdotti elementi di Algebra lineare e di Geometria analitica piana e spaziale. Lo studente sarà messo in grado di risolvere semplici problemi che richiedano:

*equazioni lineari*

*calcolo matriciale*

*ricerca di autovalori e diagonalizzazione*

*uso di coordinate cartesiane per la rappresentazione di curve e superficie.*

### REQUISITI

Numeri (interi, razionali, reali)

Insiemi e funzioni

Calcolo letterale, equazioni e disequazioni

Elementi di geometria euclidea piana e spaziale

Regole elementari del ragionamento logico (ad esempio: implicazione, equivalenza)

Elementi di trigonometria piana

### PROGRAMMA

*I modulo: ALGEBRA LINEARE (55%)*

*Impegno (ore) lezione: 46 esercitazione: 32*

Vettori del piano e dello spazio

Numeri complessi: operazioni, rappresentazione trigonometrica, radici n-esime.

Polinomi ed equazioni algebriche in campo reale e complesso: radici, principio di identità, teorema fondamentale dell'algebra.

Spazi vettoriali: proprietà elementari, sottospazi, somma e intersezione, dipendenza e indipendenza, basi e generatori, dimensione.

Matrici: operazioni, spazi di matrici, matrici simmetriche e antisimmetriche, matrici invertibili.

Sistemi lineari: compatibilità e teorema di Rouchè-Capelli, metodi di risoluzione, sistemi ad incognite vettoriali, matrici inverse, determinanti e matrici.

Applicazioni lineari: definizione, nucleo e immagine, suriettività, iniettività, applicazione inversa, applicazioni lineari e matrici; matrici simili e cambiamento di base.

Autovalori e autovettori: Polinomio caratteristico e minimo, teorema di Calay-Hamilton, auto-spazi, endomorfismi semplici, diagonalizzazione.

Spazi con prodotto scalare e matrici simmetriche.

*II modulo: GEOMETRIA ANALITICA (45%)*

*Impegno (ore) lezione: 36 esercitazione: 24*

Coordinate cartesiane sulla retta e nel piano. Coordinate polari nel piano.

Rette e circonferenze nel piano

Coniche in forma canonica e generale.

Coordinate cartesiane e polari nello spazio.

Rette e piani nello spazio.

Sfere e circonferenze.

Curve e superficie nello spazio.

Quadriche (argomento facoltativo)

## **BIBLIOGRAFIA**

- S.Greco, P.Valabrega - *Lezioni di Algebra Lineare e Geometria, Vol.I Algebra Lineare, Vol II Geometria Analitica e Differenziale* - Ed. Levrotto e Bella, Torino, 1999
- A. Sanini - *lezioni di Geometria* - Ed .Levrotto e Bella, Torino, 1999  
(Libri di esercizi adatti ai corsi)
- L.Chiantini - *Algebra Lineare e Geometria Analitica* - Ed. Masson, Milano 1998
- A. Sanini - *Esercizi di Geometria* - Ed. Levrotto e Bella, Torino, 1994
- G.Tedeschi - *Test di Geometria risolti* - Ed. Esculapio, Bologna, 1998
- N.Chiarli - *l'esame di geometria* - Ed. Levrotto e Bella, Torino, 1986
- G.Cervelli-A.DiLello - *Geometria, esercizi risolti* - Ed. Clut, Torino, 1994

## **ESAME**

L'esame si può sostenere con due modalità diverse

Primo tipo . Esame con due prove scritte durante il semestre

Lo studente potrà sostenere due prove scritte, che si svolgeranno a metà e al termine del corso. Il primo scritto riguarda il modulo A- Algebra Lineare, il secondo riguarda il modulo B- Geometria Analitica.

Secondo tipo. Esame con prova scritta tradizionale

Lo studente che non possa o non voglia utilizzare le prove precedenti sosterrà una prova scritta, seguita da una prova orale.

## **Q2775 IMPIANTI NUCLEARI / INGEGNERIA DEI REATTORI NUCLEARI A FUSIONE I (i) (corso integrato)**

Anno: 4	Periodo: 1
Impegno (ore)	lezione: 90    esercitazione: 20    laboratorio: 2
Docente:	<b>Bruno PANELLA, Roberto ZANINO</b> (Dipartimento di Energetica) (esercitazioni: <b>Massimo ZUCCHETTI</b> , laboratorio: <b>Cristina BERTANI</b> )

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso integrato intende fornire le conoscenze di base dell'ingegneria degli impianti nucleari a fissione e a fusione con particolare riferimento alle centrali per la produzione di energia elettrica. Esso è costituito da tre moduli didattici: Energia nucleare e centrali nucleari; Sicurezza nucleare e ciclo del combustibile; Ingegneria dei reattori nucleari a fusione.

Nel primo modulo, dopo aver inquadrato il problema della produzione da fonte nucleare nel panorama energetico ed evidenziato le caratteristiche peculiari dei reattori nucleari, vengono descritti i principali tipi di reattori a fissione e giustificate le scelte di impianto e dei materiali usati.

Nel secondo modulo vengono analizzati i metodi di progettazione dei componenti e i problemi di sicurezza, affrontando poi l'argomento relativo al ciclo del combustibile e alla disattivazione degli impianti nucleari.

Nel terzo modulo, dedicato ad una introduzione ai reattori a fusione, dopo aver fornito alcuni elementi di modellazione del plasma, vengono descritti i principi di funzionamento e le caratteristiche dei componenti più importanti di un tokamak.

Il secondo modulo necessita delle conoscenze relative al primo modulo. Il primo e il terzo modulo possono essere svolti indipendentemente.

### **PROGRAMMA**

*I modulo: ENERGIA NUCLEARE E CENTRALI NUCLEARI (40%)*

- 1.1. L'energia nucleare nel contesto energetico mondiale: risorse, produzione e consumi di energia; impatto ambientale della produzione di energia; potenzialità, problematiche e ruolo futuro della fonte nucleare. Costi di produzione dell'energia elettrica (6 ore)
- 1.2. Richiami di fisica del reattore; calcoli energetici e consumo di combustibile; reattori termici e autofertilizzanti: confronto con i combustibili fossili (2 ore)
- 1.3. Scelta dei materiali nei reattori nucleari sulla base delle proprietà nucleari, termofisiche, strutturali, chimiche; scelta del rapporto di moderazione in un reattore termico e stabilità intrinseca; effetto del boro, dell'arricchimento e del diametro della barretta; rateo di fissione; consumo di combustibile e utilizzazione della risorsa uranio; Burnup; bilancio dei materiali; rapporto di conversione e di fertilizzazione; reattori veloci; coefficienti di reattività; stretchout; parametri di prestazione dei noccioli; componenti principali del nocciolo; schermi; recipienti in pressione; layout di una centrale di potenza; classificazione dei reattori nucleari; breve storia dell'energia nucleare (12 ore)
- 1.4. Reattori a gas grafite: Magnox, AGR, HTGR.; reattori ad acqua pesante: descrizione dei CANDU. (4 ore)
- 1.5. Reattori ad acqua leggera: caratteristiche principali; proprietà dell'acqua; reattori ad acqua pressurizzata: descrizione dettagliata del vessel, degli internals, del nocciolo; circuito primario; pompe; valvole, generatori di vapore; pressurizzatore; sistemi di funzionamento normale e di emergenza; contenitore di sicurezza; circuito secondario e condensatore; reattori APWR. (10 ore)

- 1.6. Reattori ad acqua bollente: caratteristiche principali ed evoluzione della filiera; descrizione dei componenti principali; controllo di potenza; contenimento; circuiti di sicurezza; reattori ABWR. (4 ore)

*II modulo: SICUREZZA NUCLEARE E CICLO DEL COMBUSTIBILE (30 %)*

- 2.1. Sicurezza degli impianti nucleari: approccio generale; difesa in profondità; ridondanza e diversificazione; classificazione degli incidenti; incidenti base di progetto; incidenti di reattività, di mancato raffreddamento, di perdita di refrigerante; sistema di protezione del reattore; transitorio di grande LOCA nei PWR e nei BWR; criteri di sicurezza, termine di sorgente e diffusione atmosferica; fenomenologia e approccio probabilistico: albero degli eventi e albero dei guasti; concetto di rischio; valutazione probabilistica del rischio: tre livelli di PRA; rapporto Wash 1400; incidenti nucleari: TMI; scala IAEA degli incidenti nucleari; cenni di radioprotezione; prevenzione e mitigazione degli incidenti: sfiato filtrato e progetti innovativi; meccanismi passivi di sicurezza; cenni ai reattori evolutivi, AP600 e SBWR e innovativi, PIUS, ISIS e ADS. (18 ore)
- 2.2. Metodologia di progettazione, normativa nucleare nel calcolo strutturale dei recipienti in pressione, garanzia della qualità, ingegneria dei circuiti, classi sismiche. (4 ore)
- 2.3. Ciclo del combustibile nucleare: a monte e a valle del reattore; confronto tra le varie tecniche di arricchimento dell'uranio; riprocessamento, vetrificazione; smaltimento dei rifiuti a alta, media e bassa attività; smantellamento degli impianti; tecniche di decontaminazione. (6 ore)

*III modulo: INGEGNERIA DEI REATTORI NUCLEARI A FUSIONE I (-30 %)*

- 3.1. Introduzione: reazioni di fusione nucleare, bilancio energetico, criterio di Lawson, ignizione. (4 ore)
- 3.2. Descrizione di un plasma: orbite di singola particella, collisioni, equazioni dell'MHD ideale. (6 ore)
- 3.3. Confinamento magnetico: geometria lineare (specchio); geometria toroidale: il tokamak. (6 ore)
- 3.4. Introduzione all'ingegneria dei magneti (4 ore)
- 3.5. Introduzione all'ingegneria del blanket. (2 ore)
- 3.6. Riscaldamento del plasma: ohmico e per iniezione di neutri. (2 ore)
- 3.7. Introduzione alle interazioni plasma-parete: bilancio energetico (rivisitato) e di particelle, carico termico sui componenti affacciati al plasma, impurezze, limiter/divertore. (4 ore)
- 3.8. Descrizione di alcuni dei principali tokamak esistenti o progettati. Cenni agli stellarator. (2 ore)
- 3.9. Introduzione al confinamento inerziale. (2 ore)

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

### **Esercitazioni**

Calcolo di schermi (10 ore)

Calcoli energetici (2 ore)

Prova sperimentale di determinazione della caratteristica di una pompa centrifuga (2 ore)

Applicazioni di calcolo su temi fusionistici all'interno delle ore indicate.

Visite

*Visita alla centrale nucleare "Enrico Fermi" a Trino Vercellese (una mattina).*

## **BIBLIOGRAFIA**

Testi consigliati

Appunti dei docenti.

- C. Lombardi, "Impianti nucleari", CLUP, Milano, 1993.  
R.A. Knief, "Nuclear Engineering", Hemisphere, 1992.  
M. Cumo, "Impianti nucleari", UTET, Torino, 1976.  
S. Glasstone, A. Sesonke, "Nuclear reactor engineering", Van Nostrand, New York, 1981.  
J. Weisman, "Elements of nuclear reactor design", Elsevier, Amsterdam, 1977.  
J. Raeder et al., "Controlled Nuclear Fusion", Wiley, New York, 1986.  
T.J. Dolan, "Fusion Research", Pergamon, New York, 1982.  
W.M. Stacey, Jr., "Fusion", Wiley, New York, 1984.  
J. Wesson et al., "Tokamaks", Clarendon, Oxford, 1987.

## **ESAME**

Sugli argomenti del modulo "Energia nucleare e centrali nucleari" viene svolto un compito di esonero a metà corso; se l'esito è positivo l'esame orale si svolge soltanto sul secondo modulo "Sicurezza nucleare e ciclo del combustibile".

Sugli argomenti del modulo "Ingegneria dei reattori nucleari a fusione I" un compito può sostituire l'esame orale.

## **Q2772      IMPIANTI NUCLEARI II**

Anno: 5	Periodo: 1	
Impegno (ore sett.)	lezione: 6	esercitazione: 2
	(ore totali)	lezione: 78      esercitazione: 24
Docenti:	<b>Giovanni DEL TIN</b> , collab.: <b>Cristina BERTANI</b> (Energetica)	

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone di fornire elementi per il calcolo e la progettazione di impianti nucleari a fissione e a fusione e per la relativa analisi di sicurezza.

### **REQUISITI**

Sono nozioni propedeutiche quelle impartite nei corsi di: Fisica dei reattori a fissione + Fisica dei reattori a fusione (integrato), Impianti nucleari + Ingegneria dei reattori nucleari a fusione 1 (integrato), Termofluidodinamica negli impianti nucleari 1.

### **PROGRAMMA**

Lo studio dei principali transitori di impianto (con riferimento soprattutto a PWR e BWR) prevede l'illustrazione dei modelli di calcolo atti a prevedere l'andamento temporale delle grandezze in gioco, nonché l'analisi funzionale delle principali salvaguardie ingegneristiche preposte alla prevenzione ed eventualmente alla mitigazione degli effetti dell'evento incidentale.

#### *1 modulo (70%)*

8 ore : Natura del rischio nucleare. Criteri, metodi e normative per la progettazione ai fini della sicurezza dei principali componenti dell'impianto nucleare, dei sistemi ausiliari, di protezione e di emergenza. Sicurezza intrinseca e sicurezza passiva.

2 ore : Individuazione delle sequenze incidentali critiche e classificazione degli eventi incidentali in classi di sicurezza.

2 ore : Perdita di carico elettrico.

6 ore : Perdita di portata per guasti al sistema di pompaggio primario; modalità di rimozione della potenza attraverso la circolazione naturale.

6 ore : Transitori conseguenti alla riduzione di capacità di asportazione del calore dal nocciolo (perdita di acqua di alimento ai generatori di vapore per impianti a ciclo indiretto e al reattore per gli impianti a ciclo diretto; perdite di vuoto al condensatore, rottura di una linea del vapore, ecc.).

6 ore : Transitori di depressurizzazione. Cenni alla dinamica del pressurizzatore e alle caratteristiche funzionali del sistema di controllo della pressione.

6 ore : Transitori di reattività: analisi dei diversi tipi di transitori e determinazione della massima potenza raggiunta e dell'energia rilasciata. Caratteristiche funzionali dei sistemi di controllo della reattività.

12 ore : Transitori di perdita di refrigerante: modalità di rottura dei componenti (cenni alla meccanica della frattura); valutazione della portata critica in regime monofase e bifase; generazione, propagazione ed attenuazione delle onde di pressione con particolare riferimento alla fase acustica del "blow-down"; modalità di rimozione del calore nelle fasi di blow-down e di refrigerazione di emergenza; modelli di separazione di fase.

6 ore : Forze di reazione e forze di getto. Valutazione dei carichi dinamici applicati alle tubazioni e ai componenti investiti dal getto a seguito di LOCA; criteri e metodi per la predisposizione di adeguate strutture di supporto.

4 ore : Criteri di progetto a fronte dei principali eventi di origine esterna all'impianto (sisma, caduta di aereo, onde di pressione, ecc.).

2 ore : Incidenti severi comportanti la fusione del nocciolo e/o la perdita di integrità fisica del contenimento.

#### *II modulo (20%)*

2 ore : Incidenti severi: sequenze incidentali, fenomeni in-vessel ed ex-vessel, modi di cedimento del sistema di contenimento.

#### *III modulo (10%)*

8 ore : La sicurezza nei reattori nucleari a fusione: analisi di transitori incidentali tipici (es. perdita di vuoto, perdite di trizio, perdita di funzionalità del sistema criogenico e del sistema magnetico).

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

#### *I modulo*

4 ore : Richiami sui tipi di sistemi di contenimento, salvaguardie ingegneristiche e sistemi di protezione con particolare riferimento ai reattori ad acqua leggera.

8 ore : Calcolo di prima approssimazione delle condizioni termofluidodinamiche nei sistemi di contenimento a secco e con piscina di soppressione negli incidenti di LOCA; codici di calcolo CONTEMPT e CONTEMPT-PS.

#### *II modulo*

3 ore: incidenti severi: sequenze incidentali, fenomeni in-vessel ed ex-vessel; modi di cedimento del sistema di contenimento.

7 ore : Rilascio dei prodotti di fissione dal nocciolo, dall'edificio di contenimento, dispersione nell'ambiente esterno e calcolo delle dosi assorbite dalla popolazione.

10 ore : Analisi di rischio degli impianti nucleari con metodologie probabilistiche (Probabilistic Risk Assessment o PRA): descrizione e finalità dei diversi livelli del PRA, descrizione e esempi applicativi delle metodologie più diffuse per l'esecuzione del PRA (albero degli eventi e albero dei guasti). Analisi dei risultati ottenuti dalle due più conosciute analisi probabilistiche di rischio effettuate su impianti nucleari: il rapporto Rasmussen e il German Risk Study.

### **BIBLIOGRAFIA**

Appunti del Docente.

E.E. Lewis, *Nuclear power reactor safety*, Wiley, New York, 1977.

N.J. McCormick, *Reliability and risk analysis*, Academic Press, London, 1981.

J. Wesson, *Tokamaks*, Clarendon, Oxford, 1987.

## Q2934 INGEGNERIA DEI REATTORI NUCLEARI A FUSIONE II (r)

(Corso ridotto)

Anno: 5	Periodo: 2	
Impegno (ore sett.)	lezione, esercitazione e laboratorio: 4	(50 nell'intero periodo)
Docente:	<b>Roberto ZANINO</b> (Dipartimento di Energetica)	

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Questo corso intende approfondire le conoscenze sviluppate nel corso di Ingegneria dei reattori nucleari a fusione I, con particolare riferimento al tokamak. L'enfasi è sulle basi fisiche delle soluzioni impiantistiche presentate, e le caratteristiche costruttive e funzionali di alcuni dei principali componenti di un reattore vengono analizzate sviluppando semplici modelli matematici. Molte delle metodologie e delle problematiche trattate in questo corso (ad es., gasdinamica unidimensionale, onde d'urto, metodo delle caratteristiche, elementi di modellazione numerica di un plasma, superconduttività applicata e criogenia) trovano applicazione anche in altri campi dell'ingegneria.

### PROGRAMMA

#### *I modulo: TERMOFLUIDODINAMICA DEL PLASMA (40%)*

Equilibrio di un plasma in un tokamak: derivazione e soluzione perturbativa dell'equazione di Grad-Schlueter-Shafranov [4 ore]. Modello a 2-fluidi di un plasma magnetizzato: equazioni di Braginskii; derivazione qualitativa dei coefficienti di trasporto (conducibilità termica, viscosità, etc.) [4 ore]. Cenni al trasporto neoclassico e al trasporto anomalo; analisi statistica degli esperimenti e scaling del tempo di confinamento dell'energia [2 ore].

Gasdinamica 1-D e applicazioni al confinamento inerziale di un plasma, metodo delle caratteristiche, onde d'urto [10 ore].

#### *II modulo: INTERAZIONI PLASMA-PARETE (40%)*

Modelli 1-D per lo scrape-off layer lungo le linee di campo magnetico [3 ore]. Modelli dello sheath elettrostatico, criterio di Bohm [3 ore]. Bilancio di particelle nel tokamak, effetti delle particelle neutre, recycling, edge refueling [4 ore]. Produzione, trasporto, e screening delle impurezze, modelli autoconsistenti regione centrale/bordo, calcolo della potenza irraggiata dal plasma [6 ore]. Carichi termici sui componenti affacciati al plasma e confronto limiter/divertore [2 ore]. Modelli 2-D per lo scrape-off layer [2 ore].

#### *III modulo: INGEGNERIA DEI MAGNETI SUPERCONDUTTORI (20%)*

Superconduttori a bassa temperatura, elementi di criogenia e tecnologie di fabbricazione del cavo [2 ore]. Stabilità e quench di un magnete superconduttore [2 ore]. Modelli per lo studio di transitori termoidraulici in cavi superconduttori a 2 canali e loro validazione sperimentale [4 ore]. Modelli per l'elio superfluido [2 ore].

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Non sono previste esercitazioni.

### BIBLIOGRAFIA

Appunti del docente e articoli tratti da riviste scientifiche.

J.A. Wesson [et al.], *Tokamaks* (Clarendon, Oxford, 1998).

Ya.B. Zel'dovich e Yu.P. Raizer, *Elements of gasdynamics and the classical theory of shock waves* (Academic Press, New York, 1968).



## ESAME

Di norma esame orale convenzionale a fine corso. In casi particolari sarà possibile in alternativa sostenere l'esame con lo svolgimento di una tesina.

## **Q3040 ISTITUZIONI DI ECONOMIA**

Anno: 5

Periodo: 2

Docente:

**Antonio ABATE**

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Obiettivo del corso, rivolto a studenti di corsi di ingegneria non gestionale, è di fornire una panoramica di base delle caratteristiche e dei problemi dell'economia e della politica economica di un paese avanzato, con un taglio rigoroso nell'impostazione della modellistica ma attento alle problematiche concrete dei sistemi economici. A tal fine ci si concentra sulle tematiche di contabilità nazionale e macroeconomia, mentre le nozioni microeconomiche presentate sono ridotte a quanto indispensabile per una corretta microfondazione dei modelli macroeconomici. La parte facoltativa costituisce il logico complemento del corso, in quanto utilizza gli schemi analitici sviluppati per analizzare le principali problematiche dell'economia italiana, il processo di unificazione economico - monetaria europea e le prospettive della moneta unica.

*Il modulo (obbligatorio)*

Ore: 73

Crediti: 7

- I grandi problemi e i concetti fondamentali dell'Economia Politica, letti attraverso l'analisi del sistema economico italiano. Crescita del prodotto, inflazione, disoccupazione. (6 ore).
- La contabilità nazionale e finanziaria riferita al sistema economico italiano. Il circuito del reddito. Famiglie, imprese, pubblica amministrazione e resto del mondo. PIL e Reddito nazionale. Il finanziamento dell'economia (15 ore).
- Modelli economici, ritardi e aspettative. Equilibrio generale ed equilibrio parziale di mercato. Mercati competitivi e con informazione imperfetta (6 ore).
- I grandi operatori del sistema economico e gli effetti della loro interazione: la famiglia (consumo e risparmio) nella teoria microeconomica neoclassica e nell'analisi macroeconomica keynesiana. (8 ore).
- I grandi operatori del sistema economico e gli effetti della loro interazione: l'impresa. Decisioni di produzione e strutture di costo. La teoria neoclassica dei costi e della produzione. Mercati concorrenziali e con informazione imperfetta. Teoria neoclassica e keynesiana dell'investimento. (8 ore).
- I grandi operatori del sistema economico e gli effetti della loro interazione: gli intermediari finanziari e il mercato della moneta. Domanda e offerta di moneta. Teoria neoclassica e teoria keynesiana. (6 ore).
- Equilibrio macroeconomico in Economia Chiusa. Mercato delle merci, della moneta, dei titoli e del lavoro. La sintesi neoclassica della macroeconomia keynesiana. I modelli IS - LM e AS - AD. La politica economica: gli obiettivi e la loro compatibilità. Gli strumenti della politica fiscale e della politica monetaria. Combinazione di politiche economiche. Il Monetarismo e la critica del "fine tuning" di derivazione keynesiana. Inflazione e disoccupazione: le politiche strutturali (supply-side) (14 ore).
- Equilibrio macroeconomico in Economia Aperta. Relazioni commerciali e finanziarie con l'estero. La bilancia dei Pagamenti. I cambi e la competitività. Cambi fissi e cambi flessibili. La politica economica in mercato aperto. Il modello Mundell - Fleming. (10 ore).

*Il modulo (facoltativo)*

Ore: 22

Crediti: 2

- L'economia e la politica economica italiana dal '45 ad oggi. La scansione delle varie fasi dello sviluppo economico del paese nel secondo dopoguerra. Nodi di fondo e problemi attuali (10 ore).

- Le tappe della costruzione economica europea. Dal Piano Marshall al trattato di Maastricht. La convergenza italiana verso i parametri dell'Unione Monetaria (5 ore).
- La transizione all'Euro, dal 1999 al 2002. La politica monetaria nel mondo dell'Euro. Vantaggi e svantaggi della UEM. I problemi della competitività italiana. (7 ore).

## BIBLIOGRAFIA

P. Ravazzi, *Il sistema economico, teoria micro e macroeconomica*, Roma, La Nuova Italia Scientifica 1993.

Materiale distribuito dal docente durante il corso (fondamentale).

## ESAME

Alla luce del consistente squilibrio tra i due moduli, a vantaggio di quello obbligatorio (squilibrio inevitabile se si considera la natura estremamente introduttiva dei contenuti) non si prevede un accertamento a metà del corso. Gli appelli saranno comuni agli studenti che intendono sostenere la parte che attribuisce soli 7 crediti e a coloro che intendono sostenere entrambi i moduli.

Anno: 5

Periodo: 1

Impegno (ore sett.)

lezione: 4

esercitazione: 2

laboratorio: 2

Docente:

**Evasio LAVAGNO** (Dipartimento di Energetica)**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il Corso si propone di analizzare le metodologie e le procedure di localizzazione di impianti, infrastrutture e sistemi energetici, con particolare attenzione rivolta alle soluzioni tecnologiche di maggior salvaguardia ambientale. La scelta tra soluzioni alternative, a parità di servizi resi, viene impostata sulla base di un approccio di tipo sistemico, che si pone obiettivi di razionalizzazione tecnico-economica ed ambientale. Viene sviluppata una applicazione progettuale con caratteristiche di studio di fattibilità.

**REQUISITI**

Fisica Tecnica, Macchine, Energetica e sistemi nucleari.

**PROGRAMMA****1. ELEMENTI DI ECOLOGIA E DI ENERGETICA (10 %)**

(gli argomenti segnati con \* verranno sviluppati principalmente per gli studenti che non hanno seguito il corso di "Energetica e sistemi nucleari")

**1.1 Elementi di ecologia \***

Gli ecosistemi.

Gli elementi costitutivi dell'ambiente naturale e i principali cicli materiali nell'ambiente naturale: perturbazioni naturali e antropogeniche.

**1.2 Le forme e le trasformazioni dell'energia**

Le forme dell'energia.

Le trasformazioni dell'energia: spontanee, reversibili, irreversibili.

Energia, exergia, anergia.

Analisi energetica di processi e sistemi: metodi, modelli e applicazioni.

**1.3. Cenni storici e scenari per il futuro \***

I contributi delle varie forme primarie al soddisfacimento dei fabbisogni; fonti primarie, risorse, riserve; processi di trasformazione; fabbisogni energetici ed usi finali.

Evoluzione storica dei consumi; descrizione di alcune situazioni nazionali caratteristiche; previsioni e scenari.

La situazione italiana nel contesto europeo. Il PEN e le leggi 9/91 e 10/91.

**1.4. L'approccio sistemico all'analisi dei sistemi energetici**

I cicli energetici: le fonti primarie e quelle rinnovabili

L'energia nucleare. I combustibili fossili: carbone, olio, gas naturale

I combustibili secondari: i prodotti delle trasformazioni del carbone e della biomassa. Il ciclo dell'idrogeno.

**2. GLI IMPIANTI, I CICLI ED I SISTEMI ENERGETICI. (20 %)****2.1 Impianti e sistemi per la produzione di energia elettrica e di energia termica**

I processi di combustione (richiami).

Caldaie, turbine a vapore e a gas, motori alternativi; cicli combinati.

Celle a combustibile.

Impianti nucleari.

Produzione combinata di energia elettrica e termica.

Pompe di calore.

## 2.2 *Schemi di impianto*

Descrizione di alcuni schemi particolarmente significativi in merito alle soluzioni tecnologiche adottate per la riduzione dell'impatto e del rischio ambientali.

## 2.3 *Valutazioni qualitative e quantitative dei rilasci di esercizio e dei rilasci incidentali*

Tecniche di controllo e riduzione delle emissioni

## 2.4 *La prevenzione del rischio*

## 2.5 *Le infrastrutture necessarie per la gestione dei cicli energetici*

Il vettoriamento dell'energia e le reti energetiche.

Le interconnessioni sovranazionali.

## 2.6 *Il ciclo completo del combustibile e l'impatto ambientale complessivo*

## 3. IL CONTESTO NORMATIVO IN MERITO AI PROCESSI DI LOCALIZZAZIONE DEI SISTEMI ENERGETICI E AGLI STANDARDS AMBIENTALI (10 %)

### 3.1 *Norme e procedure della legislazione nazionale ed internazionale*

Gli standards di qualità ambientale.

Normativa USA, U.E. ed Italiana.

### 3.2 *Analisi critica di alcuni casi rilevanti di processi localizzativi*

Le localizzazioni di impianti elettronucleari.

## 4. ANALISI DI IMPIANTI E SISTEMI ENERGETICI. (20 %)

### 4.1 *Definizione dei parametri di valutazione*

In termini di validità: tecnologica, energetica, socio-economica, territoriale, ambientale.

Le analisi costi/benefici.

### 4.2 *Criteri e metodi per la valutazione delle alternative*

La modellazione dei sistemi energetici: modelli integrali e modelli per la valutazione delle alternative di localizzazione.

Le procedure per la scelta e la qualificazione dei siti: l'esperienza nucleare.

### 4.3 *Energia e aree urbane*

La pianificazione energetica territoriale.

Le aree urbane. La zonizzazione territoriale.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI (40%)**

Le esercitazioni e le attività del Laboratorio Didattico (LAME - Laboratorio di Analisi e Modelli Energetici) consistono nello sviluppo di casi concernenti diversi sistemi energetici, produttivi e/o territoriali. Verrà sviluppata una applicazione a livello di studio di fattibilità.

## **BIBLIOGRAFIA**

Verrà messo a disposizione materiale di documentazione e verranno forniti riferimenti bibliografici.

## **ESAME**

Il colloquio di esame comprende la discussione degli elaborati di esercitazione e Laboratorio.



## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Il corso delle esercitazioni prevede specifiche applicazioni di calcolo sulle turbomacchine trattate a lezione. Tali applicazioni consentono di preparare l'allievo al superamento della prova scritta d'esame.

## BIBLIOGRAFIA

Appunti delle lezioni e delle esercitazioni sono messi a disposizione degli allievi.

Giuseppe Cantore "Macchine" Progetto Leonardo 1996 ed. Esculapio (Bologna)

Giovanni Lozza "Turbine a gas e cicli combinati" Progetto Leonardo 1996 ed Esculapio (Bologna)

## ESAME

L'esame consiste nel superamento di una prova scritta e di una prova orale. La prova scritta serve a valutare la capacità dell'allievo a risolvere problemi applicativi sulle turbomacchine. La prova scritta e la prova orale sono svolte all'interno dello stesso appello d'esame.

## **Q3204      MECCANICA ANALITICA (R)**

(Corso ridotto)

Anno: 2	Periodo: 2
Impegno (ore totali)	lezione: 36      esercitazione: 20
Docente:	<b>Franco PIAZZESE</b> (Dipartimento di Fisica)

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Approfondendo alcuni argomenti fondamentali di fisica classica, il corso (1) fornisce alcuni strumenti fisico-matematici fondamentali di vasta applicabilità, e (2) introduce concetti indispensabili nello studio della fisica moderna, in particolare della meccanica statistica e della meccanica quantistica. Per il carattere culturale, il corso offre conoscenze non effimere di base, di interesse in numerose applicazioni scientifico-tecniche.

Sono impiegati strumenti matematici appropriati, in parte noti da altri corsi (quali il calcolo differenziale ed integrale e l'algebra lineare) ed in parte introdotti ad hoc (in particolare, il calcolo delle variazioni). In particolare, è necessaria la conoscenza degli argomenti fondamentali dei corsi di Analisi 1 e 2, Geometria e Fisica 1. Il secondo modulo richiede la conoscenza degli argomenti svolti nel primo modulo.

### **PROGRAMMA**

#### **1. MECCANICA LAGRANGIANA (60%)**

1.1 Vincoli. Gradi di libertà. Sistemi olonomi. Energia cinetica di un sistema olonomo. Spostamenti virtuali. Principio dei lavori virtuali. Equazioni di Lagrange. Potenziale generalizzato. Funzione di dissipazione di Rayleigh (18 ore).

Elementi del calcolo delle variazioni. Principio di Hamilton. Deduzione delle equazioni di Lagrange dal principio di Hamilton. Analogie fisiche. Teoremi di conservazione e proprietà di simmetria (6 ore).

1.2 Cinematica del corpo rigido. Angoli di Eulero. Teorema di Eulero sul moto di un corpo rigido con un punto fisso. Rotazioni infinitesime. Dinamica relativa (6 ore).

Dinamica del corpo rigido. Momento angolare ed energia cinetica. Ellissoide d'inerzia. Equazioni del moto di Eulero. Costruzione di Poincaré. Moto di una trottola pesante: quadrature e cenni sulla soluzione (10 ore).

#### **2. MECCANICA HAMILTONIANA E TRASFORMAZIONI CANONICHE (40%)**

2.1 Trasformazioni di Legendre ed equazioni del moto di Hamilton. Teoremi di conservazione e significato fisico dell'hamiltoniana. Deduzione delle equazioni di Hamilton da un principio variazionale (Principio di Hamilton modificato). Principio di minima azione di Maupertuis. Analogia formale con il principio di Fermat dell'ottica geometrica (6 ore).

2.2 Trasformazioni canoniche. Parentesi di Poisson. Invarianza canonica delle parentesi di Poisson. Identità di Jacobi. Equazioni del moto nella formulazione con le parentesi di Poisson. Trasformazioni canoniche infinitesime e leggi di conservazione nel formalismo delle parentesi di Poisson. Trasformazioni canoniche finite come prodotto di infinite trasformazioni infinitesime; esempi: rotazioni spaziali e moto. Invarianza canonica dell'estensione in fase. Approccio probabilistico: il concetto di ensemble e il teorema di Liouville. (10 ore).

Cenni sulla teoria di Hamilton-Jacobi per la funzione caratteristica. Analogia fra l'ottica-meccanica e la meccanica ondulatoria. (6 ore).

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni vertono su argomenti svolti nelle lezioni.



## BIBLIOGRAFIA

Testi consigliati

H. Goldstein, *Classical Mechanics* (2 Edizione), Addison-Wesley (1980).

Esiste anche l'edizione italiana (Zanichelli, Bologna (1971)), che, essendo la traduzione della prima edizione americana (1950) è meno consigliata

Per eventuali approfondimenti:

C. Cercignani, *Spazio, tempo, movimento*, Zanichelli, Bologna (1976).

A. Fasano-S. Marmi, *Meccanica Analitica*, Bollati Boringhieri (1994).

## ESAME

Agli studenti che hanno seguito regolarmente il corso si consiglia di sostenere al termine una prova scritta vertente tanto su esercizi quanto su domande di teoria, sull'intero programma svolto. Per ottenere la massima votazione è richiesto, inoltre, di presentare, in forma seminariale, un argomento a scelta concordata con il docente. La valutazione d'esame, effettuata in base alle prove di cui sopra, sarà registrata nel corso delle regolari sessioni d'esame.

Esiste in ogni caso la possibilità di sostenere l'esame -consistente in una prova orale o scritta con discussione- presentandosi agli appelli d'esame.

Anno: 3

Periodo: 2

Impegno (ore totali)

lezione: 76      esercitazione: 44

Docente:

**Giovanni JACAZIO**

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso consiste in una presentazione iniziale delle proprietà fondamentali della meccanica dei corpi rigidi, seguita da una trattazione di tutti gli aspetti principali della trasmissione della potenza meccanica da un elemento generatore della potenza ad un elemento utilizzatore della stessa. In questa trattazione vengono descritti i componenti impiegati nella trasmissione della potenza e vengono esaminati i principali aspetti dinamici ad essa collegati, quali vibrazioni meccaniche e regolazione.

### **PROGRAMMA**

*Principali generali di meccanica. (30%)*

Moto di un corpo puntiforme e di un corpo rigido rispetto a sistemi fissi e mobili di coordinate. Proprietà di inerzia dei corpi rigidi. Forze di massa e di superficie agenti sui corpi. Vincoli, reazioni vincolari, gradi di libertà, equazioni di equilibrio statico dei corpi rigidi. Quantità di moto e momento della quantità di moto. Lavoro ed energia. Equazioni d equilibrio della dinamica. Urto fra corpi rigidi.

*La trasmissione del moto. (45%)*

Giunti: giunto di Cardano, giunto di Oldahm, giunti omocineticici.

Flessibili: argani di sollevamento, trasmissioni a cinghie, trasmissioni con catene.

Ingranaggi: caratteristiche generali delle ruote dentate, ingranaggi cilindrici, ingranaggi conici, ingranaggi ad assi sghembi.

Rotismi: rotismi ordinari ed epicicloidali; riduttori, differenziale, riduttori armonici.

Viti: trasmissioni a vite/madrevite, viti differenziali e multiple, viti a circolazione di sfere.

Meccanismi articolati: procedimento generale per il calcolo cinematico dei meccanismi articolati; manovellismo, quadrilatero articolato, meccanismo a braccio oscillante.

Freni ed arresti: freni a fluido, freni ad attrito (a tamburo, a dischi, a nastro), dissipazione dell'energia cinetica in un freno, arresti meccanici.

Innesti: innesti a denti, frizioni a dischi, frizioni coniche, frizioni a forza centrifuga, ruote libere.

Trasmissioni a fluido: trasmissioni idrostatiche, giunti idraulici, convertitori di coppia.

Cuscinetti: cuscinetti a rotolamento, cuscinetti portanti e di spinta con lubrificazione idrodinamica, cuscinetti con lubrificazione idrostatica.

*Vibrazioni meccaniche. (15%)*

Metodologie di studio delle vibrazioni meccaniche. Risposta impulsiva e ad una eccitazione sinusoidale di sistemi a uno e a molti gradi di libertà, modi di vibrazione, battimenti, trasmissibilità ed isolamento delle vibrazioni. Vibrazioni di sistemi a parametri distribuiti: vibrazioni flessionali e torsionali degli alberi, velocità critiche degli alberi. Vibrazioni di sistemi non lineari: oscillazioni autoeccitate.

*Servomeccanismi. (10%)*

Principi fondamentali di regolazione applicata ai sistemi meccanici: tipi di sistemi, risposta a comandi a gradino e a rampa, risposta in frequenza. Studio della stabilità: criteri di Routh e Nyquist. Servomeccanismi elettromeccanici, servomeccanismi idromeccanici, servomeccanismi elettroidraulici.

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

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

## BIBLIOGRAFIA

G. Jacazio, B. Piombo, *Meccanica applicata alle macchine*, Levrotto & Bella, Torino, 1991.

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

## ESAME

L'esame è costituito da una prova scritta, della durata di 4 ore, consistente nella risoluzione di quattro problemi sulle diverse parti del corso.

## Q3390 MECCANICA STATISTICA

Anno: 4	Periodo: 1
Impegno (ore sett.)	lezione, esercitazione: 8
Impegno (ore totali)	lezione: 90    esercitazione: 15
Docente:	<b>Mario RASETTI</b> , collab.: <b>Corrado AGNES</b> (Dipartimento di Fisica)

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso è inteso fornire una professionalità specifica a chi voglia affrontare professionalmente problemi avanzati nell'ambito dei sistemi complessi, di qualunque natura questi siano. Più in particolare, esso mira a fornire, a quegli studenti che fanno un uso applicativo esteso della termodinamica, una comprensione profonda dei meccanismi fisici, dei fenomeni microscopici, dei metodi e degli algoritmi concettuali di rappresentazione di tale disciplina. Dato il livello alto di difficoltà e di aggiornamento, il corso è strumento professionale importante per chi intenda affrontare tali argomenti in un ambito di ricerca. Nel passato, dalla frequenza al corso sono spesso scaturite tesi di laurea interessanti (nell'ambito della scienza dei materiali, della teoria della computazione, dello studio dei sistemi complessi).

Il corso completo, diviso in tre parti, ha durata complessiva di ~ 90 ore. Inoltre le lezioni sono accompagnate da esercitazioni sia al computer (simulazioni), sia di complemento al corso; queste ultime disegnate in particolare per fornire informazioni addizionali su applicazioni moderne non standard della meccanica statistica (reti neurali, sistemi biologici, reti di calcolo), per un totale di ~ 15 ore. La III parte (di ~ 50 ore) è organizzata in modo tale da non richiedere come prerequisito essenziale la inclusione delle due parti precedenti nel piano degli studi (anche se, naturalmente, questo sarebbe desiderabile).

### REQUISITI

Sono prerequisiti essenziali i corsi di Matematica e Fisica generali, i complementi di matematica, almeno un corso di "Fisica moderna". Nonostante nel corso si faccia spesso uso di strumenti matematici avanzati e inusuali (cioè non forniti istituzionalmente, quali ad esempio alcune nozioni di topologia differenziale e combinatoria), questi vengono esaurientemente forniti durante il corso stesso.

Per la prima e seconda parte esiste un libro di testo che copre con ampiezza la materia trattata. La terza parte ha natura più monografica e richiede il ricorso a testi specifici, via via indicati.

### PROGRAMMA

*I modulo: DINAMICA ED EQUILIBRIO DEI SISTEMI COMPLESSI (30%)*

La prima parte è incentrata essenzialmente sulla nozione di complessità nell'ambito dei sistemi dinamici in generale (di quelli hamiltoniani in particolare) e sui paradigmi mediante i quali tale concetto si può definire e controllare. Vengono date le nozioni fondamentali della teoria dei sistemi dinamici, quali spazio delle fasi, "flows" e mappe, integrabilità e non integrabilità (equazioni di Hamilton-Jacobi), stabilità dinamica e strutturale – con i relativi concetti di attrattore, regolare o strano, e della sua dimensionalità di Hausdorff – e si discutono gli effetti della non-linearità. Si analizzano poi a fondo i criteri che individuano il comportamento imprevedibile (caos deterministico) dei sistemi dinamici non integrabili: frattalità dei corrispondenti attrattori strani, segno degli esponenti di Lyapunov, legame fra dimensione frattale degli attrattori ed entropia di Kolmogorov del sistema. Vengono studiate le proprietà topologiche del sistema globale delle traiettorie legate alla non-linearità delle interazioni mediante la rappresentazione di Smale e si identificano le varie possibilità di transizione al regime caotico mediante la dinamica simbolica associata a tali interazioni: mappa horse-shoe e Bernoulli shift. Si discutono

varie applicazioni: dalla turbolenza nei sistemi metereologici (equazioni di Navier–Stokes–Lorenz) alla dinamica dei fasci in acceleratori di particelle accoppiati. Questa prima parte si conclude con lo studio della perturbazione di sistemi dinamici integrabili (teorema KAM) e della ergodicità del sistema di Sinai.

#### *II modulo: I FONDAMENTI DELLA MECCANICA STATISTICA (20%)*

La seconda parte del corso inizia con i moderni fondamenti della meccanica statistica, basati su una definizione rigorosa del concetto di ergodicità a partire dai principi primi della teoria dei sistemi dinamici complessi sviluppata nella prima parte e dal teorema di Liouville per i flows hamiltoniani. Vengono poi definite le nozioni di misura invariante e di ensemble nelle varie versioni (micro-canonica, canonica e gran-canonica). Successivamente viene definito il concetto di entropia – legandolo sia all'entropia di Kolmogorov per i sistemi dinamici, sia all'entropia di Shannon della teoria dell'informazione, sia all'entropia della termodinamica – e a partire da esso si ritrovano i principi della termodinamica fenomenologica. Nel fare questo si definiscono rigorosamente anche i concetti di potenziale termodinamico e di funzione di correlazione, derivando da essi l'intera descrizione della termodinamica di equilibrio (incluse le transizioni di fase) di un sistema dinamico generico. Ne seguono anche le nozioni di temperatura assoluta (e di zero assoluto), di coesistenza delle fasi, di stato termodinamico, di parametri d'ordine. Viene discusso il concetto di mixing e come esso consenta di descrivere anche fenomeni termodinamici di "fuori-equilibrio".

#### *III modulo: LE APPLICAZIONI DELLA MECCANICA STATISTICA (50%)*

La terza parte del corso è dedicata alle applicazioni dei concetti che sono oggetto delle due prime parti. Queste vengono brevemente richiamate – nei loro aspetti essenziali – per quegli studenti che non le abbiano seguite. Successivamente, dopo gli esempi tipici del "gas perfetto", sia classico sia quantistico (vengono studiate, ad esempio, l'equazione di stato di un gas nobile e il calore specifico degli elettroni in un metallo), si discutono a fondo i sistemi interagenti, ancora sia classici (gas reali: modello di van der Waals, espansioni viriali, teorema di Mayer–Mayer), sia quantistici (modello di Chandrasekar, superfluidità, superconduttività, sistemi magnetici). Vengono illustrate anche applicazioni alla fisica dei plasmi. Il corso si conclude con la discussione approfondita della cosiddetta approssimazione di "gas reticolare" e delle complesse soluzioni (modelli di Ising e di Heisenberg) cui essa conduce.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

*I Modulo:* calcolo numerico di esponenti di Lyapunov, determinazione di attrattori strani, simulazione di sistemi complessi di diverse origini fisiche (turbolenza, acceleratori di particelle, circuiti elettronici). (~ 5 ore)

*II Modulo:* complementi sulla geometria frattale e sulla teoria della probabilità e della misura. (~ 5 ore)

*III Modulo:* applicazioni innovative della meccanica statistica: applicazioni biologiche, alla teoria della computazione, alla predizione relativa a sistemi idrogeologici e atmosferici. (~ 5 ore)

### **BIBLIOGRAFIA**

Per il I e II modulo:

M. Rasetti, "Modern Methods in Statistical Mechanics", World Scientific Publ. Co., Singapore, 1991

Per il III modulo:

appunti fotocopiati del docente.

### **ESAME**

L'esame è sempre orale; per gli studenti che seguono tutti e tre i moduli l'esame è unico; per gli studenti che seguono soltanto uno o due moduli l'esame è superato per ciascun modulo.

Anno: 5                                  Periodo: 2  
Impegno (ore sett.)                  lezione: 6                                  esercitazione: 2  
Docente:                                  da nominare

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Scopo del corso è di fornire gli approfondimenti indispensabili per la preparazione di un laureato in Ingegneria che debba fare uso di tecniche numeriche e di simulazione avanzate. Il corso si propone di fornire una preparazione sull'argomento di tipo sia teorico che pratico. Una parte consistente del corso è dedicata allo sviluppo di programmi di calcolo e all'uso di software applicativo.

Lo scopo principale del primo modulo è di fornire alcuni strumenti generali della fisica computazionale, illustrandone alcune applicazioni tipiche. Il secondo modulo approfondisce alcune moderne tecniche di simulazione basate sull'uso di particelle computazionali. Il corso fornisce gli strumenti necessari a modellizzare un sistema fisico per mezzo di particelle e ad implementare tale modello in un sistema di calcolo efficiente. Durante il corso verranno utilizzati esempi pratici e programmi al computer relativi alla simulazioni di plasmi; ma verrà anche sviluppata anche l'applicazione dei metodi alle particelle ad altri campi della ingegneria e della fisica.

### **PROGRAMMA**

#### *METODI DELLA FISICA COMPUTAZIONALE (60%)*

Tecniche numeriche per la soluzione di equazioni alle derivate parziali [25ore]

Metodi alle differenze finite

Analisi di consistenza, accuratezza, stabilità ed efficienza

Rappresentazione discretizzata degli operatori differenziali

Problemi ellittici, parabolici e iperbolici

Problemi non lineari

Tecniche variazionali

Griglie adattative

Applicazioni dell'analisi spettrale [15ore]

Relazione tra trasformata di Fourier e trasformata discreta; campionamento e aliasing

Fast Fourier Transform e sue applicazioni

Analisi spettrale basata sulle wavelet

Discrete Wavelet Transform e sue applicazioni

Metodi di simulazione nella fluidodinamica dei gas debolmente ionizzati [20ore]

Modelli fisico-matematici per la modellizzazione dei gas ionizzati

Tecniche numeriche per la soluzione di equazioni fluidodinamiche in regime stazionario e nei transitori

Simulazione numerica di dispositivi per le applicazioni tecnologiche dei plasmi.

#### *METODI DI SIMULAZIONE ALLE PARTICELLE (40%)*

Introduzione [6ore]

Accoppiamento di sistemi di particelle interagenti

Schemi PP, PM, PPPM, uso di superparticelle computazionali nella simulazione di sistemi costituiti da molte particelle

Metodi di simulazione Particle-in-Cell

Derivazione euristica e derivazione rigorosa del metodo PIC per sistemi non collisionali

Funzioni di forma e di assegnazione

Soluzione delle equazioni del moto in presenza di campi elettromagnetici  
Problemi pluridimensionali, soluzione delle equazioni di campo, metodi di soluzione di problemi lineari basati sugli spazi di Krylov.  
Analisi della stabilità.  
Metodi statistici per sistemi collisionali.  
Metodi di Molecular Dynamics  
Formulazione di metodi alle particelle per sistemi fortemente accoppiati.  
Soluzione di equazioni differenziali ordinarie, liste di celle e particelle per ottimizzare i calcoli di forza.  
Applicazione a liquidi con particelle polari, fluidi elettroreologici.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Nelle esercitazioni viene introdotto l'ambiente di programmazione MATLAB e sono sviluppati dei programmi di calcolo relativi agli argomenti trattati a lezione.

### **BIBLIOGRAFIA**

W. Press, S. Teukolsky, W. Vetterling, B. Flannery, *Numerical Recipes*, Cambridge University Press, New York, 1994.  
J. Penny, G. Lindfield, *Numerical Methods Using Matlab*, Ellis Horwood, 1995.  
J.H. Ferziger, M. Peric, *Computational Methods for Fluid Dynamics*, Springer, Berlino, 1996.  
Daubechies, *Ten Lectures on Wavelets*, SIAM, Washington, 1992.  
R.W. Hockney, J.W. Eastwood, *Computer Simulation Using Particles*, Adam Hilger, Bristol, 1988.  
R. Frenkel, A. Smit, *Molecular Dynamics Simulation*, Academic, San Diego, 1997.

### **ESAME**

Per sostenere l'esame occorre consegnare una relazione relativa ai programmi di calcolo sviluppati nelle esercitazioni. L'esame prevede una prova scritta di tipo teorico, seguita da un colloquio orale, in cui viene discussa la prova scritta e la relazione.

Anno: 2

Periodo: 2

Impegno (ore totali)

lezione: 80

esercitazione/laboratorio: 40

Docente:

**Edoardo VESENTINI** (Dipartimento di Matematica)**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si rivolge agli studenti del corso di laurea in Ingegneria nucleare che necessitano di strumenti matematici utilizzati nelle applicazioni che non vengono forniti nei corsi di matematica del biennio. Il corso è suddiviso in tre moduli: il primo sugli spazi di Hilbert e il secondo sulle funzioni olomorfe, che possono essere svolti indipendentemente, precedono il terzo sulle equazioni differenziali e funzioni speciali.

**REQUISITI**

Sono prerequisiti i corsi di Analisi e Geometria: In particolare occorre padroneggiare i concetti di limite, continuità e derivata, gli integrali anche curvilinei e gli elementi di algebra lineare.

**PROGRAMMA**

Il corso si divide in tre moduli:

*I modulo: SPAZI DI HILBERT E QUESTIONI CONNESSE (40%)*

Spazio di Hilbert come palcoscenico naturale per fenomeni con infiniti gradi di libertà.

Operatori lineari associati a operatori differenziali e integrali.

*II modulo: INTRODUZIONE ALLA TEORIA ELEMENTARE DELLE FUNZIONI OLMORFE (30%)*

Le funzioni olomorfe come strumento di calcolo con serie convergenti di potenze.

Funzioni armoniche. Problema di Dirichlet per l'equazione di Laplace e trasformate di Laplace e Fourier.

*III modulo: EQUAZIONI DIFFERENZIALI LINEARI E FUNZIONI SPECIALI (30%)*

Equazioni differenziali lineari nel campo reale e nel campo complesso.

Equazioni differenziali e funzioni speciali.

Funzioni di Hermite, di Legendre e di Bessel

**ESAME**

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale, da sostenersi nel medesimo appello.



Anno: 5

Periodo: 1

Docente:

**Aldo PASQUARELLI****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

L'insegnamento intende fornire specifiche conoscenze teoriche e sperimentali sia nel campo delle misure e della strumentazione in campo nucleare che nel campo più generale delle misurazioni di grandezze fisiche in campo industriale. Vengono quindi spiegati gli effetti fisici che conducono alla costruzione di un sensore. Vengono pure descritti gli apparati elettronici di amplificazione e linearizzazione del segnale proveniente da un sensore, sia i metodi di misura del segnale stesso. Vengono descritte le principali applicazioni dei sensori.

**REQUISITI**

Lo studente deve aver seguito i corsi di fisica ed almeno un corso di elettronica.

**PROGRAMMA**

Il I modulo contiene la sola parte teorica, il II modulo contiene la parte sperimentale.

Il II modulo va quindi sempre preceduto dal I modulo mentre il I modulo può essere considerato una unità completa.

*I modulo (50%)**Parte teorica del corso:*

definizione di sensore; definizione di trasduttore;  
misure di tempo: oscillatore al quarzo, oscillatore CMOS; contatore digitale; misuratore del periodo; misuratore della frequenza; moltiplicatore di frequenza; discriminatore di frequenza;  
sensori di temperatura; resistenze al platino; termocoppia (effetto Seebeck, costituzione di una termocoppia, compensazione di giunto freddo, linearizzazione, amplificazione), vari tipi di termocoppia; sensori di temperatura a stato solido; sensori di temperatura al quarzo; cenni di pirometria;  
termistori; descrizione del comportamento sia a pendenza negativa che a pendenza positiva; funzionamento in regime di autoriscaldamento; schema di anemometro a termistore caldo; funzionamento di un ponte anemometrico con compensazione per la temperatura del fluido in cui è immerso;  
sensori di umidità; descrizione dei sensori capacitivi, sistema di misura e linearizzazione; descrizione dei sistemi resistivi, sistema di misura e linearizzazione;  
estensimetro; analisi della variazione di resistenza in funzione della deformazione meccanica; vari tipi di trasduttori costruiti con ponti estensimetrici : cella di carico, accelerometro, trasduttore di pressione;  
accelerometro capacitivo monolitico; descrizione del principio di funzionamento, ponte di misura e taratura;  
trasduttori di pressione: trasduttori monolitici, trasduttori a ponte serigrafato;  
trasduttori di spostamento : trasduttori potenziometrici, trasformatore differenziale;  
encoder ottici sia per misure d'angolo che per misure lineari (riga ottica);  
trasduttori ad effetto Hall ed applicazioni;  
convertitore raggi X - luce; esposimetro automatico per raggi X;

*II modulo (50%)**Parte sperimentale del corso*

Acquisizione dati con PC e programma National.







## **Q4410      PROTEZIONE E SICUREZZA NEGLI IMPIANTI NUCLEARI**

Anno: 5	Periodo: 1
Impegno (ore totali)	lezione: 78      esercitazione: 20      laboratorio: 12
Docente:	<b>Massimo ZUCCHETTI</b>

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

La protezione e l'analisi di sicurezza sono nate con il nucleare, e nel nucleare hanno trovato il campo di applicazione più avanzato fra i vari settori della tecnica.

Il corso è incentrato sull'insegnamento delle nozioni di radioprotezione ed i principi di sicurezza usati in campo nucleare; scopo finale è fornire all'ingegnere nucleare gli strumenti di analisi e di decisione a lui indispensabili nel campo più delicato della sua professione, ovvero quello dell'analista di sicurezza e di impatto ambientale. I recenti sviluppi nello scenario d'utilizzo del nucleare, in Italia e nel mondo, pongono questi aspetti in primo piano e ne rendono necessario l'approfondimento.

Il corso si articola in tre moduli, di cui uno di carattere generale e due di carattere applicativo. Oltre all'applicazione più classica (fissione) viene dato spazio sia all'analisi più innovativa riguardante la fusione nucleare, sia alle applicazioni al di fuori dell'energetica (utilizzo di radiazioni in campo industriale e medico).

Viene particolarmente posta l'attenzione al confronto critico con i rischi e le normative di sicurezza degli altri settori della tecnica, allo scopo di mettere in grado l'ingegnere nucleare di estendere ad altri campi i criteri protezionistici avanzati propri del nucleare.

### **REQUISITI**

Nozioni generali di fisica nucleare, di fisica del reattore nucleare e di impianti nucleari.

### **PROGRAMMA**

#### **1 - NOZIONI FONDAMENTALI (30%)**

- Il concetto e la misura del rischio. Quadro globale dei rischi della vita comune e delle attività civili e industriali. Rischi d'azione e di carenza, immediati e ritardati. Legami fra i rischi e l'impatto ambientale.
- Trasferimento d'energia dalla radiazione alla materia. Grandezze dosimetriche, relazione fluenza-dose. Valutazione dell'esposizione interna all'organismo.
- Effetti biologici e sanitari delle radiazioni ionizzanti. Equivalente di dose. Relazione dose-effetto. Esposizione di una popolazione. Posizione delle radiazioni ionizzanti nel quadro generale degli agenti genotossici.
- Fondo naturale ed ambientale di radiazione. Sorgenti industriali, mediche e miscelate.
- Criteri generali della radioprotezione. I tre principi (giustificazione, ottimizzazione, dose individuale).
- Normativa internazionale nel campo della protezione dalle radiazioni. Le Raccomandazioni ICRP del 1990 ed i BSS (Basic Safety Standards). Confronto con le normative di sicurezza e protezione in altri campi.
- Normativa nazionale: Il D.L. n.230/1995: analisi e confronto con il DPR n.185/64. Decreti applicativi. Limiti derivati (concentrazioni permissibili e limiti d'assunzione). Livelli di riferimento e stati di emergenza.

#### **2 - ANALISI DI SICUREZZA IN IMPIANTI NUCLEARI A FISSIONE E FUSIONE (30%)**

- Sicurezza nei reattori a fissione nucleare. Metodologie per l'analisi di sicurezza (approccio probabilistico e deterministico).
- Scelta del sito e licencing di un impianto nucleare. Il Rapporto Preliminare di Sicurezza (RPS).

- Analisi di impatto ambientale di un reattore nucleare a fissione, basato sul RPS del Progetto Unificato Nucleare. Caratteristiche del sito di riferimento. Descrizione generale dell'impianto. Criteri generali di progetto. Metodologia per il calcolo dei termini di sorgente e delle dosi al gruppo critico. Impatto radiologico in normale esercizio. Analisi d'incidente in condizioni d'impianto 2 e 3. Analisi d'incidente in condizioni d'impianto 4 (incidenti base di progetto), a partire dall'evento iniziatore fino alle dosi al gruppo critico.
  - Il rischio dell'elettroproduzione nucleare in confronto a quello degli altri mezzi di trasformazione d'energia e nel quadro generale dei rischi.
  - Analisi di impatto ambientale di un reattore nucleare a fusione. Il progetto ITER confrontato con la fissione. Caratteristiche d'impianto. Eventi incidentali. Rilasci di trizio e prodotti attivati. Metodologie per la riduzione dell'impatto. Il progetto Ignitor. Il progetto SEAFP.
  - Storia degli incidenti veri o presunti in campo nucleare. Scale internazionali di classificazione degli incidenti nucleari. Gli incidenti di Windscale e Three-Mile Island. L'incidente di Chernobyl: dinamica dell'incidente, analisi delle conseguenze locali e globali, la risposta italiana, le lezioni apprese.
  - Scorie nucleari. Trattamento, classificazione e gestione finale delle scorie radioattive. Confronto fissione - fusione. Il problema della proliferazione, le Salvaguardie (Safeguards).
- 3 - PROBLEMI DI RADIOPROTEZIONE IN CAMPO NON ENERGETICO (40%)**
- Le sorgenti di radiazioni ionizzanti. Elementi radioattivi e apparecchi per la produzione di raggi X. Rivelazione e misura delle radiazioni ionizzanti. Dosimetria individuale.
  - Pratiche e lavorazioni che utilizzano radiazioni ionizzanti: applicazioni industriali.
  - Applicazioni sanitarie delle radiazioni ionizzanti: radiodiagnostica e radioterapia.
  - Problemi di radioprotezione legati all'utilizzo di sorgenti radioattive in campo industriale e medico.
  - Elementi di progettazione dei rifugi NBC (nucleare, batteriologico, chimico).
  - La figura dell'esperto qualificato. L'esame per l'iscrizione all'elenco nazionale degli esperti qualificati per la sorveglianza fisica della radioprotezione. e gli sbocchi professionali.
  - Gli incidenti nucleari in campo non energetico.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Il programma indicato è comune a lezioni ed esercitazioni; queste ultime riguarderanno gli aspetti più applicativi. L'attività di laboratorio prevede l'utilizzo di strumenti informatici (codici GENII e Microshield, ipertesti su Chernobyl e sulla fusione) presso il LASC (Laboratorio per l'Analisi di Sicurezza dei Sistemi Complessi) del Dipartimento di Energetica.

All'interno del corso è prevista una visita di istruzione presso i laboratori del Centro di Radioprotezione della FIAT SepIn di Torino, e presso il Centro ENEA di Saluggia.

## **BIBLIOGRAFIA**

Appunti delle lezioni forniti dal docente.

C. Polvani, *Elementi di radioprotezione*, ENEA, Roma, 1987.

C. Lombardi, *Impianti Nucleari*, Ed. Città Studi, 5a Ed. 1993, cap. 9.

V. Stancari, *Guida alla Sorveglianza medica della radioprotezione*, Patron, Bologna, 1980.

*Raccomandazioni ICRP 1990*, IAEA Bulletin, 36 (1994) 2-11.

*Decreto Legislativo n.230*, Suppl. Ord. G. Uff. n.136 del 13.6.95.

ENEL, *Progetto Unificato Nucleare, Progetto di Massima: Rapporto Preliminare di Sicurezza*. Vol. 1-3, luglio 1982.

## **ESAME**

L'esame è esclusivamente orale e prevede l'approfondimento di alcuni temi fra quelli in programma. Non è prevista l'elaborazione di relazioni o altro materiale scritto.

## **Q4434 RADIOATTIVITÀ (r)**

(Corso ridotto)

Anno: 5	Periodo: 2	
Impegno (ore sett.)	lezione: 4	esercitazione: 2
(ore totali)	40	20

Docente: **Bruno Minetti** (Dipartimento di Fisica, tel.564.7317; email: minetti@polito.it)

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso è articolato in due moduli, "Trattamento dei Dati Sperimentali" e "Laboratorio di Fisica Nucleare"

Il primo modulo si propone di approfondire le nozioni di base sulle metodologie di misura utilizzate nel campo della Ingegneria Nucleare, con particolare riferimento alle metodologie utilizzate per progettare e realizzare esperimenti.

Il programma è finalizzato alla progettazione e realizzazione di esperimenti relativi ad applicazioni specifiche quali ad es. misura di radioattività ambientale, misura di inquinamento radioattivo di falde acquifere, ecc.

Al termine lo studente dovrebbe aver acquisito una cultura di base sulla progettazione di esperimenti e sul trattamento dei dati sperimentali.

Il secondo modulo, di laboratorio, si propone di approfondire le nozioni di base sulla Fisica Nucleare Sperimentale utilizzando in particolar modo le nozioni presentate nel primo modulo (Trattamento dei Dati Sperimentali)

Al termine del corso lo studente dovrebbe aver acquisito una cultura di base sui metodi di misura di particelle nucleari.

### **REQUISITI**

Calcolo differenziale e integrale ed equazioni differenziali. Fisica generale I e II. Fisica Nucleare

### **PROGRAMMA**

#### **1) TRATTAMENTO DEI DATI SPERIMENTALI (60%)**

Fondamenti del calcolo delle probabilità (2 ore).

Definizione di probabilità. Definizione di eventi compatibili e incompatibili. Probabilità di AND e OR di eventi. Probabilità condizionata

Variabili aleatorie (5 ore)

densità di probabilità Funzione di distribuzione. Valor medio, varianza, momenti di ordine superiore. Funzione caratteristica.

Distribuzioni particolari (6 ore)

Distribuzione di Poisson. Somma e differenza di distribuzioni di Poisson. Distribuzione Binomiale. Distribuzione di Gauss. Sovrapposizione di distribuzioni Gaussiane. Distribuzione degli intervalli.

Sistemi di variabili aleatorie (5 ore).

Funzioni di variabili aleatorie in due e tre dimensioni. Somma e rapporto di variabili aleatorie

Criteri di conformità (4 ore)

Verifica di ipotesi. Test di ipotesi, caso generale con due ipotesi alternative.

Stima di parametri (6 ore)

Stima esplicita e implicita di parametri. Stima di parametri vincolati. Metodo della massima verosimiglianza. metodo dei minimi quadrati.

Intervalli di confidenza (4 ore)

Trattazione approssimata nel caso di distribuzioni Gaussiane. Caso generale e stima di un parametro. Stima della probabilità dalla frequenza. Caso di n prove ripetute.

Metodi di simulazione applicati alla progettazione di esperimenti, in special modo nell'ambito della Fisica e Ingegneria Nucleare (8 ore)

Generalità sui metodi Montecarlo e loro utilizzo in fase di progetto di una misura. Metodi diretti e indiretti per la generazione di numeri casuali con densità di probabilità assegnata. Simulazione di sorgenti radioattive isotrope e anisotrope. Simulazione del passaggio di particelle nei materiali. Tecnica della collisione forzata. Simulazione di collisioni.

## 2) LABORATORIO DI FISICA NUCLEARE (40%)

Richiami sul passaggio di particelle nella materia (2 ore).

Generalità sui rivelatori di particelle (2 ore).

Rivelatori a gas, a scintillazione e a stato solido. Efficienza e tempo morto di un rivelatore. Rivelazione di particelle a, b e g.

Taratura e misure sperimentali con un contatore b (4 ore).

Taratura e misure sperimentali con un contatore g (4 ore).

Misure di radioattività ambientale (4 ore).

Misure della radiazione cosmica con uno scintillatore plastico (4 ore)

## BIBLIOGRAFIA

Appunti delle lezioni.

## ESAME

Per il primo modulo lo studente potrà scegliere tra l'esame tradizionale sugli argomenti trattati a lezione e la presentazione di una breve relazione su un argomento a scelta, trattato a lezione, che sarà da lui ulteriormente approfondito.

Per il secondo modulo lo studente dovrà presentare una relazione, succinta ma esauriente, degli esperimenti trattati, in modo da permettere a chi possiede una normale cultura scientifica, di capire cosa è stato fatto e come si sono realizzate le misure.

La valutazione avverrà mediante una breve discussione orale delle relazioni presentate.



## **Q4460 REATTORI NUCLEARI AVANZATI**

Anno: 5

Periodo: 1

Docente:

**Piero RAVETTO** (Dipartimento di Energetica)

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

#### **1 - METODI MONTE CARLO (40 %)**

I metodi di simulazione statistica costituiscono uno strumento efficace per la soluzione di molti problemi di ingegneria. Il modulo presenta i principi del metodo Monte Carlo, illustrandone alcune applicazioni nei campi del trasporto di particelle e dell'affidabilità di sistemi complessi.

##### *a. Fondamenti del metodo Monte Carlo*

- Simulazione del comportamento di sistemi statistici; variabili casuali, unbiased estimator; convergenza statistica e varianza; random walk discrete e continue.
- Algoritmi per la generazione di numeri casuali, metodo rejection.

##### *b. Applicazioni del metodo Monte Carlo*

- Valutazione di integrali multipli; soluzione di sistemi di equazioni e di equazioni integrali; serie di Neumann e spettro di collisione.
- Applicazioni allo studio dell'affidabilità di sistemi complessi; applicazioni a calcoli di trasporto neutronico e fotonico e al problema del reattore critico; applicazioni agli schermi e ai sistemi a geometria complessa; valutazione di quantit... puntuali e track length estimator.

##### *c. Metodi di riduzione della varianza*

- Problemi connessi allo studio di eventi rari e principali metodi di riduzione della varianza; concetto di detector, peso statistico e importance sampling; trasformazione esponenziale, survival biasing, roulette russa, splitting.

##### *d. Trattamento statistico di insiemi di dati sperimentali*

- Incertezze di dati sperimentali; momenti, varianze e correlazioni; misure differenziali e integrali; tecniche di aggiustamento di misure differenziali mediante dati integrali: applicazione del metodo dei minimi quadrati e del principio della massima verosimiglianza; varianza-covarianza dei dati aggiustati.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Soluzione di un problema statistico mediante il metodo Monte Carlo; studio della convergenza, applicazioni di metodi di riduzione della varianza, importance sampling. L'esercitazione richiede la messa a punto di un programma al calcolatore.

### **BIBLIOGRAFIA**

I. Lux, L. Koblinger, Monte Carlo Transport Methods, Neutron and Photon Calculations, CRC Press, Boca Raton (1991).

Y. Yeivin, Experimental Data Uncertainties; The Adjustment Formalism; Consistency of Parameter and Response Data, The Hebrew University, Jerusalem (1992).\*

#### **2 - METODI COMPUTAZIONALI DELLA NEUTRONICA (30 %)**

Il modulo affronta il problema della soluzione dell'equazione del trasporto per i neutroni nei sistemi moltiplicanti sia in condizioni stazionarie che dipendenti dal tempo, presentando i metodi classici delle armoniche sferiche e delle ordinate discrete. Viene inoltre illustrata la teoria delle perturbazioni generalizzate.

##### *a. Problemi di base della neutronica dei sistemi moltiplicanti*

- Librerie di sezioni d'urto per il calcolo dei reattori; applicazione delle tecniche statistiche di aggiustamento dei dati nucleari.

- Formulazione del problema degli autovalori dell'equazione del trasporto; autovalore di moltiplicazione; autovalore temporale e teorema di equivalenza.

*b. Soluzione dell'equazione del trasporto per i neutroni*

- Il metodo delle armoniche sferiche; caso monocinetico e dipendente dall'energia; il caso dipendente dal tempo; l'equazione della diffusione e del telegrafista; l'equazione dell'età....

- Il metodo delle ordinate discrete; relazione con il metodo delle armoniche sferiche; geometria pluridimensionale: ray effects; il metodo dell'iterazione di sorgente e le procedure di accelerazione; il metodo diffusion synthetic.

*c. Teoria delle perturbazioni*

- Il problema aggiunto di un modello fisico; l'equazione aggiunta all'equazione del trasporto integro-differenziale e la funzione importanza; generalizzazione del problema aggiunto.

- Teoria delle perturbazioni generalizzate per funzionali lineari; problemi di radiazione e di trasporto del calore, problemi di affidabilità... di sistemi, studio dell'evoluzione di nuclidi, calcolo di barre di controllo nei reattori nucleari.

*d. Equazioni della dinamica neutronica*

- Metodi di separazione nella dinamica dei reattori: deduzione delle equazioni della cinetica puntiforme, definizione dei parametri cinetici, metodi adiabatici e quasistatici, metodi degli \*-modes; metodi modali e nodali; cinetica inversa.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

- Librerie di sezioni d'urto;

- Il codice ANISN;

- Calcolo di sistemi moltiplicanti e di schermi mediante un codice alle ordinate discrete.

## **BIBLIOGRAFIA**

A.F. Henry, Nuclear Reactor Analysis, MIT Press, Cambridge, MA (1975).

J.J. Duderstadt, L.J. Hamilton, Nuclear Reactor Analysis, Wiley, New York (1976).

R.V. Meghreblian, D.K. Holmes, Reactor Analysis, Mc-Graw-Hill, New York (1960).

MISN-PC Manual, NEA Data Bank, Gif-sur-Yvette (1990).

M. Salvatores, La Théorie des Perturbations et les Analyses de Sensibilit., IRDI/DEDR, CEN, Cadarache (1988).

Z. Ackasu, G.S. Lellouche, L.M. Shotkin, Mathematical Methods in Nuclear Reactor Dynamics, Academic Press, New York (1971).\*

### **3 - FISICA DEI REATTORI INNOVATIVI (30 %)**

Il modulo affronta i principali problemi della fisica dei sistemi moltiplicanti di nuova concezione, che vengono oggi proposti per la produzione di energia, per il bruciamento delle scorie radioattive prodotte dai reattori convenzionali, per applicazioni mediche e per la produzione di isotopi.

*a. Fisica dei sistemi moltiplicanti sottocritici*

- Fisica dei reattori sottocritici: accelerator driven systems; modellizzazione fisica dei sistemi a combustibile fluido; progetto stazionario; metodi per la misura del livello di sottocriticità....

- Modellizzazione e progetto del bersaglio; studio Monte Carlo dei fenomeni fisici connessi alle reazioni di spallazione; accoppiamento sorgente-sistema sottocritico.

- Dinamica spaziale dei sistemi sottocritici a combustibile solido e fluido: modelli diffusivi e trasportistici; parametri cinetici; problemi di sicurezza; controeazioni termiche e stabilizzanti...; problemi di controllo degli accelerator driven systems.

*b. Bruciamento delle scorie radioattive*

- Ciclo del combustibile nucleare e problema del bruciamento dei nuclidi radioattivi a lunga vita; bruciamento del plutonio prodotto dalle centrali nucleari e dismesso dal sistema militare; bruciamento degli attinidi minori; bruciamento dei prodotti di fissione.

- Illustrazione dei progetti dei sistemi per il bruciamento degli attinidi e dei prodotti di fissione; combustibili innovativi per sistemi critici termici; sistemi critici veloci; sistemi sottocritici.

*c. Sistemi per la produzione di energia e per applicazioni industriali e mediche*

- Illustrazione dei progetti dei sistemi sottocritici per la produzione di energia; il progetto Rubbia.

- Sistemi sottocritici per applicazioni industriali e mediche; boroterapia e sistemi per la produzione di isotopi.

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Valutazione dei parametri fisici caratteristici di un sistema sottocritico.

## **BIBLIOGRAFIA**

A.F. Henry, Nuclear Reactor Analysis, MIT Press, Cambridge, MA (1975).

Appunti della Fr,d,ric Joliot Summer School - 1995, INSTN, Paris (1995).

Appunti del Docente.

Anno: 3

Periodo: 1

Impegno (ore sett.)

lezione: 4

esercitazione: 2

laboratorio: 2

Docente:

**Franco ALGOSTINO**esercitazioni: **Giorgio FARAGGIANA, Guglielmo GUGLIELMI**

(tel. 564.4848; orario di ricevimento: tutti i giorni dalle 8.30 alle 12.00 e dalle 14.00 alle 16.30, salvo impegni didattici e di Facoltà)

**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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

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

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

**REQUISITI**

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

*Prima parte (40%): TRAVI E TRAVATURE*

Programma: (14 ore)

Richiami di statica e geometria delle aree. (2 ore)

Travi e travature: travature piane caricate nel loro piano e trasversalmente. Travature spaziali. Calcolo delle sollecitazioni degli spostamenti in travature isostatiche ed iperstatiche. (8 ore)

Fenomeni di instabilità: l'asta caricata di punta, teoria di Eulero. L'asta oltre il limite elastico.

Fenomeni del secondo ordine (4 ore)

**LABORATORI E/O ESERCITAZIONI:**

(34 ore)

Vincoli nel piano e nello spazio. (2 ore)

Travature reticolari piane. (4 ore)

Travature piane isostatiche: grado di vincolo, reazioni vincolari, diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione, calcolo di spostamenti. (10 ore)

Travature piane iperstatiche. (10 ore)

Linea elastica di travi diritte. (4 ore)

Instabilità: l'asta caricata di punta con diverse condizioni di vincolo in regime elastico e plastico. (4 ore)

*Seconda parte (30%): IL CORPO DEFORMABILE*

Programma: (18 ore)

Analisi dello stato di tensione: equazioni indefinite di equilibrio, componenti del tensore di tensione in diverse direzioni, cerchi di Mohr, tensioni principali. (6 ore)

Analisi dello stato di deformazione: deduzione delle componenti del tensore di deformazione in un riferimento cartesiano ortogonale, deformazioni principali, equazioni di congruenza. (4 ore)

Equazione dei lavori virtuali: applicazione al corpo deformabile. (4 ore)

Leggi costitutive del materiale: il corpo elastico, la legge di Hooke, il corpo isotropo, tensioni ideali e limiti di resistenza. (4 ore)

Teoremi energetici: lavoro di deformazione, condizioni di minimo. (4 ore)

Programma delle esercitazioni in aula: (2 ore)

Cerchi di Mohr, determinazione delle tensioni principali e tensioni ideali, (2 ore)

Programma delle esercitazioni di laboratorio: (1 ore)

Visita del laboratorio del dip. di Ingegneria Strutturale.

Determinazione sperimentale del carico di snervamento in un tondino in acciaio. Determinazione del carico di rottura di un cubetto in calcestruzzo.

*Terza parte (30%): IL SOLIDO DI ST. VENANT*

Programma delle lezioni: (18 ore)

Il Solido di Saint Venant: definizione e impostazione generale del problema. (4 ore)

Flessione deviata. (4 ore)

Taglio: teoria approssimata. (4 ore)

Torsione: sezione circolare, sezione cava e sezione sottile aperta. (4 ore)

Sezioni eterogenee, unioni longitudinali discontinue, cemento armato (2 ore)

Programma delle esercitazioni in aula: (12 ore)

Flessione deviata: determinazione dell'asse neutro e delle tensioni. (4 ore)

Taglio: determinazione del centro di taglio. (4 ore)

Torsione: determinazione delle tensioni e della deformazione per sezione chiusa e aperta. (4 ore)

Programma delle esercitazioni di laboratorio: (1 ore)

Misura degli spostamenti in una trave. (1 ora)

Visita del laboratorio del dip. di Ingegneria Strutturale (1 ora)

## **BIBLIOGRAFIA**

F. Algotino G. Faraggiana A. Sassi, Scienza delle costruzioni Vol. 1° e 2°, UTET

F. Algotino G. Faraggiana, Scienza delle costruzioni esercizi (in preparazione)

## **ESAME**

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

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

Anno: 2

Periodo: 2

Impegno (ore totali)

lezione: 80

esercitazione: 16

laboratorio: 8

Docente:

**Margherita APPENDINO MONTORSI**

(Dipartimento di Scienza dei Materiali ed Ingegneria Chimica)

**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Obiettivo principale del corso è quello di impartire le nozioni fondamentali della scienza dei materiali di uso ingegneristico in generale e in particolare di quelli impiegati in campo nucleare. Secondo obiettivo è quello di illustrare alcuni metodi di elaborazione, proprietà e caratteristiche di impiego di detti materiali. Il corso è diviso in 3 moduli

**REQUISITI**

È indispensabile la conoscenza della chimica generale e inorganica, nonché di alcuni concetti fondamentali di fisica e matematica. Sarebbe sufficiente aver ben assimilato e presente quanto costituisce i programmi ministeriali del liceo classico per le suddette materie.

**PROGRAMMA****1 - SCIENZA DEI MATERIALI (30%)**

Classificazione e proprietà dei materiali di interesse ingegneristico. (2 ore)

Legami atomici e proprietà della materia; energia e lunghezza di legame; strutture cristalline; celle elementari; numero di coordinazione. (3 ore)

Difetti reticolari : di punto, a) di tipo chimico, come soluzioni solide o solidi non stechiometrici, e b) di tipo fisico, come vacanze, interstiziali, difetti di Schottky e di Frenkel. Difetti di punto e irraggiamento neutronico. Difetti di punto e diffusione allo stato solido. (4 ore)

Difetti di linea: dislocazioni a cuneo, a vite e miste; difetti di linea e deformazioni meccaniche. (2 ore)

Difetti di superficie e bordi di grano. Difetti di volume: solidi amorfi. (2 ore)

Proprietà termiche dei materiali: capacità termica massica e molare; dilatazione termica e suo coefficiente; conducibilità termica; shock termico. (2 ore)

Proprietà meccaniche dei materiali: resistenza a trazione, modulo di Young e coefficiente di Poisson, resistenza a compressione, durezza, resilienza, scorrimento viscoso a caldo, resistenza a fatica e a flessione. (4 ore)

Proprietà elettriche dei materiali: conduttori, isolanti, semiconduttori e superconduttori; conducibilità elettrica e temperatura; resistenza elettrica ed elementi di lega. (2 ore)

Diagrammi di stato a uno e due componenti; curve di riscaldamento e di raffreddamento; regola delle fasi e della leva; eutettici, peritettici, formazione di composti intermedi e di soluzioni solide. Lettura di diagrammi di stato ternari. (5 ore)

**2- TECNOLOGIA DEI MATERIALI (40%)**

Acque per uso industriale. Approvvigionamento e trattamenti preliminari; gas disciolti e degassaggio chimico e fisico; analisi e calcolo della durezza dai dati analitici. (2 ore)

Metodi di abbattimento della durezza: a) calce-soda, b) fosfati, c) resine scambiatrici sodiche. Fragilità caustica. (2 ore)

Metodi di ottenimento di acqua demineralizzata: con resine scambiatrici anioniche e cationiche, per distillazione, con evaporatori a multiplo effetto, per termocompressione. Parziale dissalazione dell'acqua per elettrolisi, osmosi inversa, congelamento. (3 ore)

Combustibili e loro classificazione; reazioni di combustione; entalpia di reazione e potere calorifico; potere calorifico superiore e inferiore; aria teorica di combustione; volume e composizione dei fumi; temperatura teorica di combustione; perdite al camino; temperatura di accensione; limiti di infiammabilità; potenziale termico. (5 ore)

Combustibili solidi: litantrace e coke metallurgico. (1 ora)

Combustibili liquidi: petrolio e suoi derivati; legge di Raoult e distillazione frazionata; benzine e numero di ottano; oli diesel e numero di cetano; inquinanti e loro abbattimento. (2 ore)

Combustibili gassosi: gas naturale, gas di gasogeno, gassificazione di prodotti petroliferi. (1ora)

Materiali ceramici: laterizi, grès, porcellane. (1 ora)

Materiali refrattari: definizione, classificazione e prove di refrattarietà libera, sotto carico, porosità, densità; refrattari argillosi, alluminosi, silicei, magnesiaci, dolomitici, cromitici e magnesiocromitici, a base di zirconia. (3 ore)

Materiali refrattari non tradizionali a base di carbonio, carburi e nitrucci. (1 ora)

Leganti aerei e idraulici: gesso e cementi Portland, pozzolanico, d'alto forno; idratazione del cemento; calcestruzzo e cause del suo degrado anche nucleare. (5 ore)

Prodotti siderurgici: produzione della ghisa; marcia dell'alto forno; diagramma di Boudouard e di Chaudron; diagramma di stato ferro-carbonio e ferro-cementite; affinazione della ghisa e produzione dell'acciaio; curve TTT e CCT; tempra e rinvenimento; ricottura, normalizzazione, indurimento per lavorazioni meccaniche; acciai inossidabili, diagrammi di stato Fe-Ni e Fe-Cr. (4 ore)

### 3- TECNOLOGIA DEI MATERIALI NUCLEARI (30%)

Elementi di energia nucleare. Nucleo atomico e sua stabilità; radioattività naturale e artificiale; nuclidi, nucleoni e loro energia di legame; reazioni di fissione e di fusione nucleare; neutroni veloci e neutroni termici; elementi moderatori; sezione d'urto neutronica; attivazione neutronica (4 ore).

Produzione di deuterio e acqua pesante a partire dall'acqua demineralizzata: con il metodo elettrolitico, per distillazione frazionata dell'acqua o dell'idrogeno liquido, per scambio isotopico. Produzione del trizio. Attivazione neutronica e radiolisi dell'acqua. (2 ore)

Refrattari non tradizionali per usi nucleari: grafite e refrattari a base di carbonio, carburo di silicio e di boro, nitrucci di silicio e di boro; ossidi carburi e nitrucci di uranio refrattari usati come combustibili nucleari. (2 ore)

Uranio: minerali e metallurgia dell'uranio; arricchimento dell'uranio nell'isotopo fissile  $^{235}\text{U}$ ; proprietà dell'uranio metallico; composti dell'uranio impiegati nei reattori nucleari. (4 ore)

Torio: metallurgia e impieghi. (1 ora)

Ciclo dei combustibili nucleari; riprocessamento; plutonio ottenuto con il metodo di estrazione con solventi. (2 ore)

Materiali per incamicamento dei combustibili nucleari: leghe di alluminio e di magnesio; leghe di zirconio; cause di degrado delle leghe metalliche per irraggiamento neutronico. (3 ore)

Scorie radioattive e loro sistemazione. (2 ore)

Combustibili nucleari: calcolo dell'energia sviluppata nelle reazioni di fissione e di fusione nucleare (2 ore).

### LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

1- Calcoli sulla durezza delle acque. Calcoli sull'abbattimento della durezza delle acque. Calcoli per il degassaggio chimico e la dolcificazione con resine delle acque. (3 ore)

2- Calcoli sulla combustione. (3 ore)

3- Calcoli sull'energia sviluppata nelle reazioni di fissione e fusione nucleare. (2 ore)

4- Calcoli sui moduli dei cementi. (2 ore)

5- Illustrazione delle apparecchiature più usate e normalizzate per la determinazione delle proprietà termiche, meccaniche ed elettriche dei materiali. (4 ore)

## **LABORATORI**

- 1- Acque: determinazione sperimentale della durezza totale, permanente e temporanea di un'acqua. Dolcificazione di un'acqua per mezzo di una resina scambiatrice sodica. (2 ore)
- 2- Combustibili: determinazione sperimentale del potere calorifico superiore e inferiore per un combustibile solido e per uno gassoso. (2 ore)
- 3- Prove meccaniche e termiche: prove di resistenza a trazione e di resilienza su materiali metallici e polimerici; prove di durezza; tavolino riscaldante; esami metallografici. (4 ore)
- 4- Laboratorio informatico : costruzione e lettura dei diagrammi di stat.o (2 ore)

## **VISITE**

Visita alla centrale ENEA di Saluggia per il trattamento delle scorie radioattive ( una mattina)

## **BIBLIOGRAFIA**

Appunti del docente , 1998

C. Brisi, Chimica applicata, Levrotto e Bella, Torino, 1988.

J.F. Shackelford, Materials science for engineers, McMillan, 1992.

W. Gerasimov, A. Monakhov, Nuclear engineering materials, 1983.

C.K. Gupta, Materials in nuclear energy applications, CRC Press, 1989.

## **ESAME**

L'esame consta di un esonero scritto e di una parte orale. Lo scritto verte su un esercizio di calcolo sulle acque, di uno di calcolo sui combustibili tradizionali, di uno di calcolo sulle reazioni nucleari e di una domanda relativa a acque, combustibili e nucleo. Se l'esonero scritto non viene superato può essere ripetuto ad ogni appello prima di sostenere la prova orale. L'esonero ha validità annuale. L'esame orale verterà ovviamente su tutto il programma svolto a lezione, con esclusione della parte superata in sede di esonero scritto.



## Q4740 SICUREZZA E ANALISI DI RISCHIO

Anno: 4,5	Periodo: 2	
Impegno (ore sett.)	lezione: 6	esercitazione, laboratorio: 2
Impegno (ore totali)	lezione: 80	esercitazione: 26 laboratorio: 4
Docente:	<b>Giovanni DEL TIN</b> , esercitatore: <b>Andrea CARPIGNANO</b>	

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di fornire elementi conoscitivi ed alcuni strumenti operativi per l'analisi di sicurezza di impianti e sistemi complessi attraverso l'uso di metodologie probabilistiche e deterministiche. L'obiettivo è quello di fornire al futuro professionista una adeguata cultura tecnico-scientifica nel campo della sicurezza, utile ai fini della progettazione degli impianti, della gestione dei sistemi di trasporto e delle relative compatibilità ambientali, nonché della pianificazione di emergenze in situazioni incidentali. Il corso è costituito da 3 moduli didattici.

### REQUISITI

Sono nozioni propedeutiche quelle impartite nei corsi di Idraulica e Fisica Tecnica. Sono altresì richieste conoscenze di base concernenti le caratteristiche costruttive e funzionali dei più comuni componenti e sistemi dell'impiantistica industriale.

### PROGRAMMA

#### 1. GENERALITÀ METODOLOGIE PER L'ANALISI DI AFFIDABILITÀ E SICUREZZA (30%)

Impegno (ore) lezione: 20 esercitazione: 10 laboratorio: 2

- Generalità sulla sicurezza e l'analisi di rischio
- Definizione, valutazione e accettabilità del rischio
- L'analisi di rischio quale strumento di supporto per la Valutazione di Impatto Ambientale e per la pianificazione del territorio, rischio d'area
- Rischi connessi all'impiantistica industriale, piani di emergenza interna ed esterna, normativa vigente in materia di sicurezza industriale
- Rischi connessi alle attività di trasporto
- Schema metodologico dell'analisi di sicurezza
- Metodologie speditive e metodologie dettagliate
- Identificazione degli eventi iniziatori (HAZOP, FMECA, ...) ed esempi applicativi
- Analisi dei sistemi (Fault Tree, Markov, Blocchi di Affidabilità)
- Cause Comuni di Guasto
- Analisi di sequenze incidentali (Event Tree, metodologie dinamiche, alberi fenomenologici)
- Analisi di vulnerabilità.
- Strumenti informatici per l'analisi di sicurezza

#### 2. ANALISI FENOMENOLOGICA DELL'EVOLUZIONE DEGLI EVENTI INCIDENTALI E RELATIVE CONSEGUENZE (50%)

Impegno (ore) lezione: 40 esercitazione: 10 laboratorio: 2

- Identificazione degli eventi incidentali, interni all'azienda, rilevanti per la sicurezza delle aziende e dell'ambiente circostante
- Termini di sorgente: trattazione fenomenologica, identificazione dei possibili tipi di rilascio, modelli per la stima dell'entità del rilascio

- Fenomeni di esplosione: trattazione fenomenologica, classificazione, modelli per la valutazione delle conseguenze, misure di salvaguardia.
- Fenomeni di incendio: trattazione fenomenologica, classificazione, modelli per la valutazione delle conseguenze, misure di salvaguardia
- Dispersione di inquinanti nell'ambiente: trattazione fenomenologica, identificazione dei meccanismi di trasporto, modelli per la stima delle concentrazioni.
- Stima dei danni: vulnerabilità dell'uomo, delle strutture e dell'ambiente
- Identificazione e studio degli eventi di provenienza esterna: eventi naturali (terremoti, inondazioni, frane) ed eventi causati da altre attività industriali.

### 3. ANALISI DI AFFIDABILITÀ DI SISTEMA (20%)

Impegno (ore)                      lezione: 20                      esercitazione: 6

- Definizione di componente e sistema
- Definizione di affidabilità e disponibilità
- Determinazione empirica dell'affidabilità di componenti non riparabili
- Tasso di guasto e densità di guasto non condizionata
- Distribuzioni
- Analisi di sistemi di componenti non riparabili: parallelo, serie, logica maggioritaria, stand-by
- Riparabilità dei componenti
- Analisi di sistemi con componenti riparabili, parametri affidabilistici che caratterizzano i componenti riparabili, calcolo dell'indisponibilità di componenti riparabili, valutazione empirica di affidabilità e disponibilità per componenti riparabili
- Calcolo dell'indisponibilità e dell'affidabilità di un sistema mediante Minimal Cut Set
- Componenti sottoposti a test, calcolo del periodo di test ottimale, politiche di test per sistemi serie e parallelo
- Indici di criticità

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Agli allievi è proposta un'esercitazione pratica che consiste nell'analisi di sicurezza con metodologie deterministiche e probabilistiche di un sistema industriale complesso o di un sistema di trasporto ai fini della determinazione dell'impatto ambientale che si avrebbe in caso di incidenti. L'esercitazione richiede l'applicazione delle metodologie trattate nelle diverse parti del corso.

### **BIBLIOGRAFIA**

Appunti dei docenti.

A. Villemeure, Sureté de fonctionnement des systèmes industriels, Eyrolles, Paris, 1988.

Guidelines for chemical process quantitative risk analysis, Center for Chemical Process Safety of the AIChE, New York, 1989.

## **Q5310      STRUMENTAZIONE FISICA**

Anno: 4

Periodo: 2

Docente:

**Luigi GONELLA** (Dipartimento di Fisica)

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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 nell'industria, ben ricadono nella competenza degli ingegneri nucleari che si suppone abbiano maggior formazione in campo fisico dei colleghi di altri rami. Il tema è affrontato mediante esemplificazione su tre campi, corrispondenti a tre moduli: 1) Metrologia moderna, 2) Strumentazione da vuoto, 3) Strumentazione ottica per la formazione d'immagine. L'enfasi viene posta sull'evoluzione di linguaggio, metodo, e definizione stessa dei problemi, che si richiede per passare dall'approccio scientifico proprio ai testi scolastici all'approccio ingegneristico.

### **REQUISITI**

Nozioni propedeutiche: Biennio, Termodinamica applicata, Elettrotecnica

### **PROGRAMMA**

#### **1. Metrologia moderna(20%)**

approfondimento del concetto di misura; convenzioni e organismi internazionali; tipi di grandezze misurabili; evoluzione dal concetto di errore a quello di incertezza; grandezze d'influenza e taratura; risoluzione

#### **2. Strumentazione da vuoto(30%)**

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 dei condotti, velocità di svuotamento; sorzione e degasamenti; fenomeni elettrici, getteraggio e spruzzamento; pompe e vacuometri dei vari tipi; tecnologia degli impianti; analizzatori di gas residuo e cerca-fughe.

#### **3. Strumentazione ottica per la formazione d'immagine(50%)**

radiometria e fotometria; tecnologia dei fenomeni ottici; sorgenti e rivelatori di luce, compreso occhio umano; formazione d'immagine in diotro; ottica parassiale e suo trattamento matriciale; pupille e finestre, fotometria dell'immagine; aberrazioni e loro correzione; relazione tra raggi e onde, approccio allo strumento ottico in termini di diffrazione e trasformata di Fourier; la formazione d'immagine come trasferimento d'informazione, funzione di trasferimento ottico; immagini di diffrazione e contrasto di fase.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

progetto di un impianto da vuoto; visite guidate

### **BIBLIOGRAFIA**

appunti del corso

## Q5404 SUPERCONDUTTIVITÀ ( $r$ )

(Corso ridotto)

Anno: 5	Periodo: 2
Impegno (ore totali)	lezione, esercitazioni, laboratorio: 60
Docente:	da nominare

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso è inteso fornire una professionalità specifica a chi voglia affrontare professionalmente problemi avanzati nell'ambito dei nuovi materiali, anche non necessariamente superconduttori. Più in particolare, naturalmente, esso mira a fornire, a quegli studenti che fanno un uso applicativo esteso delle proprietà dei superconduttori, una comprensione profonda dei meccanismi fisici, dei fenomeni microscopici, dei metodi di misura e dei modelli concettuali di rappresentazione di tali materiali. Dato il livello alto di difficoltà e di aggiornamento, il corso è strumento professionale importante per chi intenda affrontare tali argomenti in un ambito di ricerca. Nel passato, dalla frequenza al corso sono spesso scaturite tesi di laurea interessanti (nell'ambito della scienza dei materiali, della fisica dello stato condensato, dello studio dei sistemi quantistici a molti corpi).

Le tre parti del corso – che ha durata complessiva di 55/60 ore – hanno peso approssimativamente uguale (di circa 20 ore ciascuna). Le lezioni sono accompagnate da esercitazioni, che consistono essenzialmente nella visita a laboratori di ricerca, in cui gli studenti assistono alla esecuzione di esperimenti, per un totale di circa 8 ore. Sono prerequisiti essenziali i corsi di matematica e fisica generali e i complementi di matematica; raccomandabili uno o due corsi di “fisica moderna” (che diano allo studente le nozioni di base di meccanica quantistica di “prima quantizzazione” e di meccanica statistica). Tutti gli elementi concettuali non istituzionali necessari vengono esaurientemente forniti durante il corso stesso; esistono tuttavia buoni testi di riferimento, che vengono indicati.

### PROGRAMMA

*La prima parte* è dedicata alla descrizione delle proprietà caratteristiche dei materiali superconduttori, della fenomenologia relativa e dei più importanti esperimenti che consentono di mettere in rilievo e caratterizzare tali proprietà. Vengono descritti la dipendenza della resistività dalla temperatura assoluta nella fase normale, nella fase superconduttrice e alla transizione; l'effetto Meissner – che corrisponde al passaggio, alla temperatura critica, da comportamento paramagnetico (ad alta temperatura) a diamagnetico (a bassa temperatura); il fenomeno delle correnti persistenti; la resistenza e le tecniche di misura del *gap* nello spettro energetico. Per i superconduttori ad alta temperatura critica viene discussa la complessa struttura chimica e cristallografica.

*La seconda parte* del corso consiste di una accurata rassegna dei modelli e delle teorie fisiche che consentono di descrivere il fenomeno della superconduttività. Dopo lo studio delle teorie fenomenologiche di London e di Landau-Ginburg, viene affrontata la teoria microscopica BCS (Bardeen, Cooper, Schrieffer). Tale teoria è basata su concetti profondi e complessi di meccanica e meccanica statistica quantistiche, dei cui elementi fondamentali viene data una rassegna. Si discutono i principi della seconda quantizzazione, le proprietà statistiche collettive di sistemi di particelle di Fermi (in particolare come queste possano formare stati legati) e di Bose (con il fenomeno della condensazione a bassa temperatura). Si richiamano altresì elementi di fisica dello stato solido: il concetto di banda di energia, il teorema di Bloch, le relazioni di dispersione dei fononi. Mediante tutti questi strumenti la teoria BCS viene descritta sia nella versione a

temperatura zero (stato fondamentale) sia in quella a temperatura non-nulla, ricavandone tutte le proprietà termodinamiche, di equilibrio e non, interessanti. Per i superconduttori ad alta temperatura critica viene fatto un cenno alle più moderne teorie (modello di Hubbard e sue generalizzazioni) attualmente prese in considerazione.

La terza parte del corso è dedicata alle applicazioni. Vengono descritti e analizzati gli utilizzi nel trasporto di corrente elettrica, nell'accumulo di energia, nella meccanica (tramite la levitazione: trasporti, cuscinetti a levitazione magnetica). Si studia poi l'effetto Josephson e la sua applicazione negli SQUID (Quantum Interference Superconductive Devices) per usi metrologici, di diagnostica medica, ecc.

## **ESAME**

Verifica orale sui temi trattati a lezione; occasionalmente, tesina scritta su argomento monografico.

## Q5680      TECNOLOGIE E APPLICAZIONI NUCLEARI

Anno: 5	Periodo: 1	
Impegno (ore sett.)	lezione: 6	esercitazione e laboratorio: 2
(ore totali)	76	24
Docente:	da nominare	

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di completare la formazione culturale di un ingegnere con l'acquisizione di una sensibilità e metodologia finalizzata alla scelta dei materiali nel progetto di componenti, considerando non solo le funzioni che essi devono svolgere ma anche le prestazioni che essi devono assicurare e la fattibilità tecnico-economica in relazione ai metodi di fabbricazione e all'ambiente di lavoro. Nel corso sono fornite le nozioni di base sulla tecnologia, sulle proprietà e sulle prestazioni dei materiali impiegati negli impianti nucleari a fissione e fusione, con particolare riguardo agli aspetti concernenti il danno da radiazione. Si affrontano i problemi connessi ai criteri per la scelta dei materiali in relazione alle funzioni che essi devono svolgere negli impianti, ai metodi di fabbricazione dei manufatti e all'ambiente di lavoro in cui devono operare. Si forniscono inoltre alcuni elementi di base sul comportamento elastoplastico dei materiali e sulla meccanica della frattura.

Il corso è articolato in tre moduli.

*Modulo A: Proprietà dei materiali e Danno da radiazione nei materiali con struttura cristallina.* Il contenuto è di tipo introduttivo e di base. Si propone di presentare le problematiche e le metodologie che sono alla base della scelta dei materiali nel progetto di componenti nucleare e non, considerando le funzioni che i materiali devono svolgere e le prestazioni che devono assicurare. In questo modulo sono fornite le nozioni di base sulle proprietà e sulle prestazioni dei materiali impiegati negli impianti nucleari a fissione e fusione con particolare riguardo agli aspetti concernenti il danno da radiazione.

*Il modulo B: Comportamento dei materiali ad alta temperatura.* Il modulo ha l'obiettivo di caratterizzare i fenomeni elastoplastici e di scorrimento viscoso a caldo che manifestano i materiali che operano ad alta temperatura e di caratterizzare le tecnologie di lavorazione dei materiali per deformazione plastica. Si affrontano anche i fondamenti della meccanica della frattura e le tecniche dei controlli non distruttivi.

*Il modulo C: Tecnologie per i reattori nucleari a fissione e fusione.* I processi tecnologici di produzione e di lavorazione dei materiali e dei componenti degli impianti nucleari a fissione e fusione sono discussi. In particolare si caratterizzano le tecnologie per la preparazione e lavorazione dei combustibili nucleari, le tecnologie del ritrattamento, dell'arricchimento del combustibile nucleare e la gestione delle scorie nucleari. Sono introdotte anche le tecnologie emergenti che riguardano l'applicazione della superconduttività e la fabbricazione dei magneti superconduttori e non per gli impianti a fusione e per gli acceleratori.

### PROGRAMMA

*I modulo: PROPRIETÀ DEI MATERIALI E DANNO DA RADIAZIONE NEI MATERIALI CON STRUTTURA CRISTALLINA.*

- Il ruolo delle tecnologie nella realizzazione dei manufatti. Tecnologie nucleari ed ambiti di applicazione. Condizioni operative di alcuni manufatti (elementi di combustibile, schermi per radiazioni nucleari, vessel, generatori di vapore, tubazioni, valvole). Classificazione dei materiali impiegati negli impianti nucleari. Materiali di corrente impiego nei reattori nucleari (6 ore)

- Proprietà dei materiali: caratterizzazione chimico-mineralogica, tecniche diagnostiche; caratterizzazione fisico-tecnologica: proprietà fisiche, meccaniche, tecnologiche, normative di riferimento ed unificazione. (4 ore)

- La struttura cristallina e suoi difetti: Difetti puntuali, lineari (dislocazioni). Meccanismi di formazione dei difetti e stima delle concentrazioni dei difetti. Moto delle dislocazioni. Difetti di superficie. (2 ore)
- Proprietà chimico-fisiche, termodinamiche e di trasporto nei materiali allo stato liquido, vapore o gas: strumenti per la valutazione e comparazione (2 ore).
- Diffusione, solubilizzazione e permeazione di specie chimiche in matrici solide (2 ore)
- Danneggiamento indotto dalle radiazioni ionizzanti: tipi di danneggiamento indotti nei cristalli, valutazione dell'irraggiamento di un materiale, fluenza. Interazione con fotoni di alta energia, neutroni, frammenti di fissione, ioni pesanti. Interazione dei neutroni veloci con i metalli. Teorie per la stima degli spostamenti di atomi per irraggiamento, Ratei di spostamento. Influenza della temperatura sul danno da radiazione. Dosi equivalenti e temperature equivalenti. Impianti per lo studio del danno da radiazione. Spostamenti multipli associati ad urti primari. Formazione di vacanze, cluster di difetti puntuali nei metalli. Formazione dei vuoti (swelling). Spike di fissione. Energia immagazzinata e rinvenimento nel danno da radiazione. Formazione di bolle con processi di nucleazione, crescita, aggregazione e migrazione. Fenomeni di diffusione e rilascio attraverso i bordi dei grani. Modelli per lo studio della formazione delle bolle durante l'irraggiamento. (8 ore)
- Effetti dell'irraggiamento sulle proprietà fisiche: resistività elettrica, potere termoelettrico, conducibilità termica, calore specifico, dilatazione termica, densità. (2 ore)
- Fenomeno della radioattività indotta da flusso neutronico. Catene di decadimento attivazione. Concetto di bassa attività e materiale a bassa attivazione (LAM). Categorie di LAM (acciai, leghe, materiali compositi). (4 ore)
- Effetti dell'irraggiamento sulle proprietà meccaniche, curve di trazione e curve di transizione duttile - fragile. Creep da irraggiamento. Danno da radiazione sulle proprietà dei materiali isolanti elettrici e materiali polimerici. (4 ore)
- Fenomeni di danneggiamento dei materiali della prima parete dei reattori nucleari a fusione: erosione, sputtering, evaporazione, blistering. (2 ore)
- Fenomeni di degradazione delle proprietà dei materiali: rotture duttile, fragile, da fatica, indotta da corrosione. Classificazione dei processi di corrosione, corrosione elettrochimica, da ossigeno, intergranulare, sotto sforzo. Infragilimento da idrogeno. Prevenzione e protezione dalla corrosione: metodi ed accorgimenti. (4 ore)

#### *II modulo: COMPORTAMENTO DEI MATERIALI AD ALTA TEMPERATURA*

- Elementi di teoria della plasticità: richiami di meccanica dei mezzi continui, invarianti dei tensori degli sforzi e delle deformazioni, cerchi di Mohr, comportamento dei materiali sollecitati oltre il carico di snervamento, modelli di comportamento in regime elastoplastico. Criteri di plasticità. Modelli di incrudimento. Modelli meccanici per materiali in regime elasto - plastico. (6 ore)
- Elementi di teoria dello scorrimento viscoso dei materiali (creep): Fasi dello scorrimento viscoso, creep primario e secondario. Creep terziario e meccanismi di rottura. Equazioni del creep. Comportamento sotto carichi variabili. Norme UNI per la caratterizzazione dei materiali in condizioni di scorrimento viscoso a caldo. Curve di scorrimento viscoso a caldo (4).
- Caratteristiche meccaniche degli acciai sottoposti a scorrimento viscoso a caldo. (2 ore)
- Elementi di meccanica della frattura: difetti e loro propagazione. Approccio energetico, curve R, fattori di intensità degli sforzi. Modello del raggio plastico. Propagazione dei difetti. (4 ore)
- Controlli non distruttivi: tecniche agli ultrasuoni, ai raggi X, gammagrafie (2 ore)
- La laminazione, fucinatura e stampaggio, estrusione e trafilatura (10)

#### *III modulo: TECNOLOGIE PER I REATTORI NUCLEARI A FISSIONE E FUSIONE*

- Formulazione delle specifiche tecniche per i materiali combustibili, moderatori, refrigeranti e materiali strutturali nei reattori nucleari. (2 ore)

- Materiali combustibili: uranio, plutonio, torio. Processi di preparazione e lavorazione e proprietà fisiche, meccaniche e tecnologiche. Leghe dell'uranio: diagrammi di stato, lavorabilità e comportamento sotto irraggiamento. Materiali ceramici a base d'uranio, elementi di metallurgia delle polveri e processi di sinterizzazione, proprietà termofisiche e meccaniche. Torio e sue leghe: processi di preparazione, proprietà termofisiche e meccaniche. Plutonio e suoi composti: proprietà termofisiche e meccaniche. (8 ore)
- Moderatori e riflettori: grafite, berillio ed ossido di berillio. Materiali affacciati al plasma nei reattori a fusione e moltiplicatori neutronici. Refrigeranti: acqua, acqua pesante, metalli liquidi. Problemi di attivazione e corrosione. Materiali triziogeni (breeder): composti ceramici, breeder liquidi. (4 ore)
- Materiali di rivestimento: zirconio e sue leghe. Materiali strutturali : acciai, leghe a base di nickel. Materiali strutturali innovativi per reattori a fusione. Materiali superconduttori: proprietà e processi di fabbricazione. (4 ore)
- Ciclo del combustibile nucleare. Processi di arricchimento per diffusione gassosa e per centrifugazione gassosa. (2 ore)
- Riprocessamento del combustibile nucleare. (2 ore)
- Gestione, trattamento e confinamento dei rifiuti radioattivi. Classificazione delle scorie, normativa internazionale ed italiana. Quantità e qualità delle scorie nei reattori a fissione. Confronto con i reattori a fusione: scorie triziate, scorie attivate. Confinamento geologico dei rifiuti radioattivi. (4 ore)
- Il trizio nei reattori a fissione e fusione. Produzione di trizio nel mantello del reattore a fusione, TBR. Inventario globale di trizio. Ottimizzazione del mantello. (2 ore)
- Materiali superconduttori: caratteristiche e tecnologie di fabbricazione, Applicazioni della superconduttività, Fabbricazione dei magneti superconduttori e non (4).

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Esemplificazioni ed analisi di normative, progettazione di procedure di prova, valutazioni numeriche del danno da radiazione. Analisi comparate di dati sperimentali sulle proprietà fisiche e meccaniche di materiali strutturali per reattori nucleari. Esempificazione di cicli di lavorazione per componenti da produrre per deformazione plastica a caldo. Analisi di normative per i controlli non distruttivi. Valutazioni tecnico economiche sul ciclo del combustibile nucleare.

### **BIBLIOGRAFIA**

Appunti del docente.

### **ESAME**

L'esame verte sulla discussione delle esercitazioni e sulla discussione e approfondimento di alcuni temi del corso.



## **Q5950      TERMODINAMICA APPLICATA**

Anno: 3	Periodo: 1		
Impegno (ore sett.)	lezione: 4	esercitazione. laboratorio: 4	
	(ore totali)	lezione: 56	esercitazione: 56      laboratorio: 8
Docente:	<b>Paolo GREGORIO</b>		

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il contenuto del corso è ripreso dal capitolo sulla termodinamica dell'insegnamento tradizionale della fisica tecnica presso questa Facoltà, opportunamente ampliato ed adattato alle esigenze del corso di laurea in Ingegneria nucleare.

Gli argomenti trattati stabiliscono tutti i fondamenti della termodinamica di base ed alcuni elementi delle applicazioni ingegneristiche della termodinamica avanzata ed hanno inoltre funzioni propedeutiche ai corsi successivi del triennio (in particolare *Macchine*, *Termocinetica*, *Termofluidodinamica degli impianti nucleari 1 e 2*, ecc.).

### **REQUISITI**

Analisi matematica II, Fisica II.

### **PROGRAMMA**

Introduzione. [3 ore]

Natura della termodinamica, relazione con la meccanica classica, temperatura, calore e legge zero, scale di temperatura, il principio di stato, lavoro, proprietà termodinamiche, leggi fondamentali della termodinamica, gas ideale.

Richiami ed applicazioni del primo principio della termodinamica. [6 ore]

Sostanze pure e cambiamenti di stato: proprietà delle sostanze pure, evaporazione, proprietà del vapore umido (regioni di saturazione), stati metastabili, rappresentazioni grafiche (diagrammi di Clapeyron, Gibbs e Mollier).

Analisi energetica dei sistemi aperti. [4 ore]

Bilanci energetici e convenzioni di segno, il sistema chiuso, il sistema aperto, il volume di controllo, sommario dei casi speciali di sistemi aperti, il coefficiente di Joule-Thomson.

Richiami alle nozioni di base sul secondo principio della termodinamica. [7 ore]

Secondo principio, enunciato secondo Kelvin-Planck e secondo Clausius, processi reversibili e cicli, temperatura termodinamica, equazioni di Clausius, definizione macroscopica dell'entropia, principio dell'incremento di entropia, entropia di una sostanza pura, variazione di entropia per un gas ideale, il ciclo di Carnot, il secondo principio per i sistemi aperti, interpretazione microscopica dell'entropia.

Lavoro disponibile ed analisi dei processi. [6 ore]

Concetto generale, sistemi aperti interagenti con una o più capacità termiche in condizioni di moto stazionario, sistemi chiusi soggetti a trasformazioni finite e cicliche, analisi dei processi per sistemi aperti e sistemi chiusi, rappresentazioni grafiche.

Equazioni di stato e relazioni generali. [3 ore]

Preliminari matematici, funzioni di Helmholtz e Gibbs, l'equazione dell'energia, le relazioni di Maxwell, entalpia, energia interna ed entropia, relazioni tra calori specifici, l'equazione di Clausius-Calpeyron, equazioni di stato, proprietà dei gas reali.

Miscele di aria e vapor d'acqua. [5 ore]

La legge di Gibbs-Dalton, proprietà energetiche delle miscele, saturazione adiabatica, la carta psicrometrica, processi di condizionamento dell'aria, torri di refrigerazione.

Cicli. [8 ore]

Considerazioni generali, cicli a vapore, deviazioni dai cicli teorici, analisi dei cicli, compressori di gas, cicli delle macchine a combustione interna (Otto, Diesel, Stirling), cicli delle macchine con turbine a gas, analisi exergetica dei cicli, cicli inversi a vapore, la pompa di calore, cicli inversi ed assorbimento.

Termodinamica dei processi irreversibili. [8 ore]

Leggi fenomenologiche e loro applicabilità, relazioni di reciprocità di Onsager, flusso termico e generazione entropica, fenomeni termoelettrici (effetti Seebeck, Peltier, Thomson), circuiti termoelettrici.

Conversione diretta dell'energia.

Celle a combustibile, dispositivi termoelettrici e termoionici, generatori magnetoidrodinamici.

Efflusso degli aeriformi. [6 ore]

Termodinamica dell'efflusso. Equazioni fondamentali. Velocità del suono, leggi di Newton e Laplace. Efflusso degli aeriformi in condotti a regime variabile. Parametri critici. Regime transonico. Ugelli supersonici.

### **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

Esercizi di calcolo su tutti gli argomenti trattati, esercitazioni di calcolo e grafiche sui cicli, con particolare riferimento a quelli utilizzati negli impianti nucleari, alcune esercitazioni di laboratorio.

### **BIBLIOGRAFIA**

C. Boffa, P. Gregorio, *Elementi di fisica tecnica*. Vol. 2, Levrotto & Bella, Torino, 1981.

P. Gregorio, *Esercizi di fisica tecnica*, 2 vol., Levrotto & Bella, Torino, 1990.

P. Gregorio, *Fisica tecnica: temi d'esame svolti*, Levrotto & Bella, Torino, 1990.

### **ESAME**

L'esame consiste in una prova scritta e in una prova orale; la prima è costituita dalla soluzione di tre esercizi (in due ore), mentre la seconda è puramente teorica, sulla base degli argomenti svolti a lezione. Si è ammessi alla prova orale solo dopo il superamento di quella scritta (che ha validità illimitata), ed il voto finale tiene conto dei risultati di entrambe le prove.

## QA551 TERMIDRAULICA I

Anno: 4	Periodo: 1
Impegno (ore sett.)	lezione: 6      esercitazione, laboratorio: 2
	(ore totali)      100
Docenti:	<b>Mario MALANDRONE, Bruno PANELLA</b> esercitazioni di laboratorio: <b>Cristina BERTANI</b>

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso ha il fine di fornire allo studente gli strumenti di base per poter affrontare in modo rigoroso l'analisi termoidraulica di impianti termici di potenza e di processo. In particolare vengono affrontati i problemi inerenti lo scambio termico e il moto dei fluidi di un impianto nucleare. A causa della generalità e del peso dato ai metodi per affrontare i problemi di moto dei fluidi e di scambio termico, il corso può essere consigliato anche a studenti in Ingegneria Meccanica, Chimica e Aeronautica.

Il programma comprende l'analisi dei processi di trasferimento di massa, di energia e di quantità di moto dei fluidi termovettori. Viene inoltre studiato in profondità il problema della conduzione nei solidi. Sono infine trattati lo scambio termico per irraggiamento e gli scambiatori di calore.

Le esercitazioni consistono nella risoluzione di problemi relativi agli argomenti trattati nell'ambito delle lezioni. I laboratori sono dedicati al moto dei fluidi in condotti e allo scambio termico negli scambiatori di calore.

### REQUISITI

Metodi matematici per l'ingegneria, Termodinamica Applicata.

### PROGRAMMA

*I modulo (40 %) : MECCANICA DEI FLUIDI. (M. Malandrone)*

Richiami sulle proprietà termodinamiche e di trasporto dei fluidi e dei solidi. [2 ore]

Cenni di statica dei fluidi: campo di pressione e calcolo delle spinte su pareti. [3 ore]

Equazioni differenziali e integrali di conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto, equazioni di Navier-Stokes e di Eulero. [5 ore]

Cenni di analisi dimensionale ed esempi di applicazione. [3 ore]

Moto di fluidi non viscosi, potenziale di velocità e linee di corrente; moto irrotazionale bidimensionale di fluidi incomprimibili; equazione di Bernoulli per fluidi ideali e reali e sue applicazioni. [4 ore]

Moto di fluidi viscosi: equazioni di Prandtl dello strato limite, strato limite laminare e turbolento nel moto su di un piatto. [3 ore].

Moto di fluidi viscosi in condotti: profilo di velocità e fattore d'attrito nel deflusso laminare; moto turbolento, equazioni di Reynolds, teoria della lunghezza di mescolamento di Prandtl; profili di velocità e fattore d'attrito nel deflusso turbolento; cadute di pressione nelle singolarità e nel deflusso su banchi di tubi; applicazione al calcolo di circuiti. [5 ore]

*II modulo (30 %) : SCAMBIO TERMICO PER CONDUZIONE DEL CALORE NEI SOLIDI. (B. Panella)*

Legge fondamentale della conduzione; conduzione in stato stazionario senza generazione di calore; campo termico in un mezzo generante calore. [3 ore]

Scambio termico su superficie estese, barra sottile, alette e superficie alettate. [4 ore]

Conduzione del calore non monodimensionale in regime stazionario, soluzioni analitiche in geometria piana e cilindrica. [6 ore]

Conduzione del calore in regime transitorio, solido di conduttività infinita, soluzioni analitiche in geometria piana e cilindrica. [5 ore]

Conduzione del calore in regime stazionario e transitorio: metodi numerici alle differenze finite. [4 ore]

*III modulo (30 %): SCAMBIO TERMICO PER CONVEZIONE NEI FLUIDI, SCAMBIO TERMICO PER IRRAGGIAMENTO E SCAMBIATORI DI CALORE. (M. Malandrone)*

Meccanismi di trasferimento del calore nei fluidi; scambio termico per convezione, coefficiente di scambio termico; analisi dimensionale nella convezione. [3 ore]

Correlazioni empiriche per il calcolo del coefficiente di scambio termico nel deflusso laminare e turbolento in condotti e su banchi di tubi. [2 ore]

Scambio termico nel moto laminare in condotti; modelli di Leveque, Graetz, Eckert. [2 ore]

Scambio termico nel moto turbolento in condotti; analogie di Reynolds, Prandtl, Von Karman e Martinelli. [3 ore]

Scambio termico in convezione naturale. [1 ora]

Scambio termico per irraggiamento: leggi fondamentali e corpo nero, fattori di forma, corpo grigio, analogia elettrica, cenni sull'irraggiamento di gas e vapori. [5 ore]

Scambiatori di calore: tipologie, calcolo di progetto e verifica con i metodi della differenza di temperatura logaritmica media e NUT. [5 ore]

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

### *I MODULO*

Esercitazioni

Problemi di statica dei fluidi; [1 ora]

applicazioni delle equazioni integrali di conservazione; [3 ore]

moto di fluidi ideali; [1 ora]

moto dei fluidi reali in condotti e studio della circolazione in circuiti adiabatici. [4 ore]

Laboratorio

Misura delle cadute di pressione distribuite in tubi e localizzate in singolarità, presso un circuito sperimentale dedicato alla didattica del Dipartimento di Energetica. [6 ore]

### *II MODULO*

Esercitazioni

Conduzione del calore nei solidi in regime stazionario; [4 ore]

calcolo di alettature; [2 ore]

conduzione del calore in regime transitorio, metodi numerici nella conduzione. [2 ore]

### *III MODULO*

Esercitazioni

Scambio termico per convezione forzata in moto laminare e turbolento in condotti e su banchi di tubi, scambio termico in regime di convezione naturale; [2 ore]

scambio termico per irraggiamento; [2 ore]

calcoli di dimensionamento e verifica di scambiatori di calore. [3 ore]

Laboratorio

Studio delle prestazioni di scambiatori di calore. [2 ore]

## **BIBLIOGRAFIA**

Panella, *Lezioni di Termocinetica*, CLUT, Torino, 1979.

Boffa, P. Gregorio, *Elementi di Fisica Tecnica*, Levrotto & Bella, Torino, 1976.

P. Gregorio, *Esercizi di Fisica Tecnica*, Levrotto & Bella, Torino, 1990.

Per approfondimenti:

J.G. Knudsen, D.L. Katz, *Fluid Dynamics and Heat Transfer*, McGraw Hill, 1958.

E.R.G. Eckert, R.M. Drake jr, *Heat and mass transfer*, McGraw Hill, 1959.

H.S. Carslaw, J.C. Jaeger, *Conduction of Heat in Solids*, Clarendon, Oxford, 1959.

F.M. White. *Fluid Mechanics*, McGraw Hill, 1987.

J.P. Holman, *Heat Transfer*, McGraw Hill, 1997.

Bejan, *Heat Transfer*, John Wiley & Sons, Inc, 1993.

## ESAME

L'esame viene svolto oralmente e comprende la discussione degli elaborati delle esercitazioni di laboratorio.

## QA552 TERMOIDRAULICA II

Anno: 4	Periodo: 2
Impegno (ore sett.)	lezione: 6      esercitazione, laboratorio: 2 (ore totali)      100
Docenti:	<b>Mario MALANDRONE, Roberto ZANINO</b> esercitazioni di laboratorio: Cristina BERTANI (Dipartimento di Energetica)

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso è dedicato allo studio di modelli dei fluidi bifase, con particolare riferimento a problemi di moto e scambio termico rilevanti nel progetto termoidraulico di impianti di potenza (nucleari e non) e nei processi industriali. Vengono inoltre presentati e discussi alcuni dei metodi numerici più comunemente utilizzati nella soluzione di problemi di termofluidodinamica. Per la generalità dei temi trattati il corso può essere consigliato anche a studenti dei corsi di laurea in Ingegneria Meccanica e Chimica.

### REQUISITI

Termoidraulica I, Calcolo numerico.

### PROGRAMMA

*I modulo (40 %): TERMOIDRAULICA DEI FLUIDI BIFASE, IDRODINAMICA. (M. Malandrone)*

Regimi di deflusso, transizioni e mappe di flusso. [4 ore]

Moto a bolle e a tappi: tipologia di bolle singole e tappi, velocità di risalita. [2 ore]

Moto anulare: sforzo di taglio e profilo di velocità nel film liquido, sforzo di taglio all'interfaccia. [2 ore]

Deflusso omogeneo in condotti: conservazione della quantità di moto e calcolo del gradiente di pressione; moltiplicatori bifase. [2 ore]

Deflusso a fasi separate: equazioni di conservazione della quantità di moto e dell'energia per il calcolo del gradiente di pressione; frazione di vuoto, metodi di misura e correlazioni; correlazioni per il calcolo del gradiente di pressione per attrito. [4 ore]

Calcolo delle cadute di pressione in singolarità con i modelli omogeneo e a fasi separate. [3 ore]

Modello a drift flux; applicazione al moto a bolle e a tappi. [2 ore]

Fenomenologia del moto anulare, fenomeni di entrainment e deposition, modellizzazione del deflusso anulare in condizioni adiabatiche. [2 ore]

Deflusso in controcorrente: fenomeno di flooding, correlazioni ed esempi di modelli della transizione al flooding. [2 ore]

Fenomeni di instabilità nei deflussi bifase. [1 ora]

Fenomenologia e modelli dell'efflusso critico di miscele bifase. [2 ore]

*Il modulo (30 %): TERMOIDRAULICA DEI FLUIDI BIFASE, SCAMBIO TERMICO. (M. Malandrone)*

Ebollizione: tipi di ebollizione e fenomenologia; ebollizione con fluido stagnante: processi di nucleazione, incipiente ebollizione e crescita delle bolle; scambio termico in ebollizione nucleata stagnante. [3 ore]

Crisi termica in regime di ebollizione con fluido stagnante: instabilità di strati e colonne di vapore, calcolo del flusso termico critico. [2 ore]

Ebollizione con deflusso: incipiente ebollizione, ebollizione nucleata e convettiva; calcolo del coefficiente di scambio termico. [2 ore]

Crisi termica nell'ebollizione con deflusso: fenomenologia e calcolo del flusso critico. [2 ore]

Modelli per il calcolo dello scambio termico nel deflusso anulare; cenni sull'applicazione a fasci di barre e sul deflusso non stazionario. [2 ore]

Scambio termico in regime di ultra-crisi in ebollizione con fluido stagnante e con deflusso; correlazioni empiriche; interazione liquido-vapore, cenno sui modelli teorici. [2 ore]

Ribagnamento di superficie ad alta temperatura: temperatura di Leidenfrost, fenomenologia del ribagnamento; cenni sui modelli di calcolo. [2 ore]

Condensazione: fenomenologia, calcolo della condensazione a film su piastre e tubi, condensazione con deflusso in condotti, cenno sull'influenza degli incondensabili. [5 ore]

### *III modulo (30 %): INTRODUZIONE AI METODI NUMERICI IN TERMOFLUIDODINAMICA.*

(R. Zanino)

Richiami alle equazioni della termofluidodinamica in forma differenziale (equazioni di Navier-Stokes). [2 ore]

Analisi e soluzione di un problema modello di conduzione-convezione scalare dipendente dal tempo:

Differenze finite 1-D: schemi upwind; metodi di avanzamento in tempo; consistenza, stabilità, convergenza. Accuratezza in spazio e tempo. Cenno ai problemi non-lineari. Differenze finite 2-D: discretizzazione spaziale, metodo Alternating Direction Implicit. [6 ore]

Elementi finiti 1-D e 2-D: formulazione debole; metodi di Galerkin e di Petrov-Galerkin (SUPG); costruzione della matrice elementare e assemblaggio della matrice globale; confronto con le differenze finite. [8 ore]

Volumi finiti per la soluzione di un problema vettoriale 2-D (fluido viscoso in moto incomprimibile): formulazione conservativa; approssimazione del flussi, rilassamento, algoritmo SIMPLE. [8 ore]

## **LABORATORI E/O ESERCITAZIONI**

### *I MODULO*

Esercitazioni

Problemi di idrodinamica dei fluidi bifase sui seguenti argomenti:

regimi di deflusso, frazione di vuoto e cadute di pressione di miscele bifase; [6 ore]

applicazione di modelli di calcolo dell'efflusso critico di miscele bifase. [2 ore]

Laboratorio

Svolgimento di esperienze relative a regimi di deflusso, frazione di vuoto e cadute di pressione distribuite e localizzate in miscele aria-acqua. [6 ore]

### *II MODULO*

Esercitazioni

Problemi di scambio termico bifase sui seguenti argomenti:

scambio termico in regime di ebollizione con fluido stagnante e con deflusso; [4 ore]

crisi termica e scambio termico in ultracrisi; [2 ore]

condensazione e calcolo di un condensatore; [2 ore]

Laboratorio

Scambio termico in regime di ebollizione. [2 ore]

### *III MODULO*

Esercitazioni e laboratorio informatico [6 ore]

Soluzione al calcolatore di vari problemi (1D/2D, stazionario/transitorio, scalare/vettoriale) di termofluidodinamica, utilizzando software preesistente basato sui volumi finiti. 5 PC Pentium, con clock variabili da 200 a 400 MHz e RAM da 64 a 128 MB, e 1 workstation DEC Alpha, con clock a 433 MHz e 256 MB di RAM, sono disponibili presso il *Laboratorio di termoidraulica computazionale* del Dipartimento di Energetica.

## **BIBLIOGRAFIA**

Per i moduli di termoidraulica dei fluidi bifase

P. B. Whalley, "Boiling, condensation and gas-liquid flow" (Clarendon, Oxford, 1987).

A.E. Bergles et al, "Two-Phase Flow and Heat Transfer in the Power and Process Industries" (Hemisphere, Washington, 1981).

J.G. Collier, J.R. Thome, "Convective Boiling and Condensation" (Clarendon, Oxford, 1996)

Per il modulo di metodi numerici:

R. Peyret and T.D. Taylor, "Computational Methods for Fluid Flow" (Springer, New York, 1985).

C. Johnson, "Numerical Solutions of Partial Differential Equations by the Finite Element Method" (University Press, Cambridge, 1987).

J.H. Ferziger and M. Peric, "Computational Methods for Fluid Dynamics" (Springer, New York, 1996).

## **ESAME**

Per i moduli di termoidraulica dei fluidi bifase: esame orale con discussione degli elaborati delle esercitazioni di laboratorio.

Per il modulo di metodi numerici: discussione delle esercitazioni al computer e breve esame orale sulla parte di teoria.



## **Q6010      TERMOTECNICA DEL REATTORE**

Anno: 5

Periodo: 2

Impegno (ore sett.)

lezione: 6      esercitazione e laboratorio: 2

(ore totali) 70      esercitazione: 18      laboratorio: 18

Docente:

**Bruno PANELLA**, Esercitazioni: **Mario MALANDRONE**

(Dipartimento di Energetica)

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso intende approfondire il funzionamento termoidraulico dei reattori nucleari, fornendo le metodologie per affrontare problemi di scambio termico e moto dei fluidi in impianti ad alto flusso termico.

Esso è costituito da due moduli didattici: Termoidraulica dei sistemi nucleari; Progetto termoidraulico del nocciolo.

Nel primo modulo dopo aver analizzato gli aspetti generali e peculiari della metodologia del progetto termoidraulico del nocciolo dei reattori, vengono analizzati i principali problemi dei sistemi nucleari quali la distribuzione di potenza nel nocciolo, i fattori di canale caldo e il mescolamento tra i canali aperti illustrandone i modelli e i codici di calcolo usati; vengono poi calcolati scambiatori di calore e condensatori.

Il secondo modulo affronta dettagliatamente il progetto termoidraulico del nocciolo con particolare riferimento ai reattori ad acqua illustrando le correlazioni usate nei codici di calcolo; vengono approfonditi i modelli e le correlazioni di progetto della crisi termica, estendendoli alle situazioni di altissimi flussi termici per applicazioni quali il carico termico sulla prima parete dei reattori a fusione; nelle esercitazioni viene svolto il calcolo termoidraulico del nocciolo di un reattore ad acqua.

Il secondo modulo richiede la conoscenza degli argomenti del primo modulo.

### **PROGRAMMA**

#### **1. TERMOIDRAULICA DEI SISTEMI NUCLEARI (50 %)**

1.1. Richiami di impiantistica nucleare; circuito primario di raffreddamento; tipologie geometriche dei sottocanalali; confronto dei parametri termoidraulici dei noccioli: potenza specifica, densità di potenza, flusso termico, potenza lineare; scelta dei parametri in relazione ai margini di sicurezza ed evoluzione del progetto; scelta di fluido refrigerante, salto entalpico, portata, pressione (6 ore).

1.2. Metodologia del progetto a seconda della tipologia di impianto; interazione tra i principali sottoprogetti: neutronico, termoidraulico, meccanico, dei materiali; progetto della geometria della cella, dell'arricchimento e del burnup sulla base di criteri neutronici, termici ed economici; diagramma a blocchi del progetto del nocciolo di un reattore veloce; progetto termico del nocciolo: limiti del progetto termico della barretta di combustibile per reattori ad acqua, a metallo liquido e a gas; comportamento del combustibile e meccanismi di guasto della barretta (8 ore)

1.3. Generazione di potenza nel nocciolo; distribuzione di potenza in un reattore nudo, omogeneo ed effetto delle barre di controllo, delle intercapedini, dell'arricchimento, della depressione del flusso, del ricambio di combustibile; fattori di forma e di canale caldo: sottofattori ingegneristici per il flusso termico, per il salto entalpico e per i salti di temperatura; distribuzione assiale a coseno e piccata; effetto dei fattori di canale caldo sul salto entalpico; portata di bypass; progetto preliminare del nocciolo di un LWR; orifiziatura; crisi termica e scelta della portata. (8ore)

1.4. Metodi statistici applicati alle tecnologie nucleari: determinazione dei fattori di canale caldo ingegneristici (2 ore)

1.5. Mescolamento tra canali aperti adiacenti: meccanismi fisici; equazioni di conservazione secondo i codici COBRA e THINC; parametro di mixing turbolento e correlazioni; mixing bifase: modelli e correlazioni del codice MIXER; procedure di calcolo e tecniche numeriche dei codici termoidraulici a canali aperti (10 ore)

## 2. PROGETTO TERMOIDRAULICO DEL NOCCIOLIO (50 %)

2.1. Calcolo termoidraulico del nocciolo di un Pwr a inizio e a fine vita; calcolo del canale caldo: profili di temperatura del refrigerante, della parete della barretta, della guaina, della pastiglia, di centro barra; integrale di conducibilità, fattore di depressione del flusso; ebollizione sulla parete :correlazione di Jens-Lottes; modello di Bowring e altre correlazioni del codice termoidraulico THINC per la regione di non equilibrio termodinamico; resistenza termica del gap tra pastiglia e guaina: impostazione teorica e correlazioni usate; calcolo spessore del gap a caldo; calcolo della pressione nella barretta a fine vita; effetto dell'ossido e delle incrostazioni sul campo termico; calcolo delle cadute di pressione nel nocciolo (14 ore)

2.2. Calcolo termoidraulico del nocciolo di un BWR: distribuzione di portata tra i canali; potenza e portata attiva; calcolo del titolo in ebollizione sottoraffreddata e satura; calcolo delle cadute di pressione monofase e bifase nel canale e nelle griglie; correlazioni del codice ISCOR (4 ore)

2.3. Crisi termica: definizioni e interpretazioni fenomenologiche, modelli e correlazioni in pool boiling; meccanismi di crisi in convezione forzata ed effetto dei principali parametri termoidraulici; effetto della distribuzione del flusso; modelli del DNB e correlazioni; modelli del dryout e correlazioni; correlazioni di progetto per PWR:W3 , fattore di Tong, fattore di griglia; correlazioni per bassissime portate e in transitorio; correlazioni di progetto per BWR: Hench Levy, CISE, GEXL; crisi termica limitata dal Flooding; asportazione di altissimi flussi termici nel divertore dei reattori a fusione: meccanismi fisici , modelli e confronto con dati sperimentali. Valutazione statistica del margine di crisi termica (18 ore)

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

### Esercitazioni

Calcolo termoidraulico del sottocanal caldo del nocciolo di un reattore ad acqua (6 ore)

Calcolo termoidraulico di scambiatori di calore e condensatori (12 ore)

### Laboratorio

Uso del calcolatore per lo sviluppo dei modelli di calcolo termoidraulico presso il laboratorio di Termoidraulica computazionale del Dipartimento di Energetica (18 ore)

## BIBLIOGRAFIA

Appunti del docente.

N.E. Todreas and M.S.Kazimi, "Nuclear systems", Vol.I ,II, Hemisphere, 1990.

R.T. Lahey and F.J.Moody, "The thermal-hydraulics of a boiling water reactor", American Nuclear Society, New York, 1993.

L.S. Tong and J.Weisman, "Thermal analysis of pressurized water reactors", American Nuclear Society, La Grange Park, 1996.

B. Panella, "Reattori nucleari ad acqua leggera", Celid, Torino, 1981.

Yu S. Tang et al., "Thermal analysis of liquid metal fast breeder reactors", American Nuclear Society, La Grange Park, 1978.

G. Melese and R.Katz, "Thermal and flow design of helium-cooled reactors", American Nuclear Society, La Grange Park, 1984.

## ESAME

La valutazione si basa sull'esame orale alla fine del corso e sulle esercitazioni svolte durante l'anno.

Le esercitazioni, che prevedono l'uso del laboratorio informatico di termoidraulica del Dipartimento di Energetica, corrette, costituiscono esonero per i capitoli 1.1, 1.2, 1.3, 2.1.

Anno: 4	Periodo: 2	
Impegno (ore sett.)	lezione: 6	esercitazione: 2
Docente:	<b>Gianni COPPA</b>	

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Lo studio dei sistemi fisici costituiti da un numero molto elevato di particelle (i fluidi e i gas ionizzati, i neutroni e la radiazione nella materia) in linea di principio richiede l'uso di un numero altrettanto elevato di variabili per la loro descrizione. Sovente però i fenomeni di interesse possono venire descritti correttamente per mezzo di pochi parametri macroscopici. Lo scopo principale del primo modulo del corso (Teoria del Trasporto) è appunto mostrare come l'analisi statistica e l'esistenza di scale temporali diverse nell'evoluzione di un sistema permettano una descrizione semplificata ma appropriata ai diversi fenomeni. Inoltre, saranno descritti i modelli cinetici di maggiore rilevanza nelle applicazioni, inquadrandoli da un punto di vista unitario. Nel secondo modulo del corso (Fisica e applicazioni dei gas debolmente ionizzati) la teoria generale sviluppata nel primo modulo viene utilizzata per lo studio dei processi basati su plasmi a basso grado di ionizzazione, che trovano un numero sempre crescente di applicazioni nella moderna tecnologia (in particolare, nei processi chimici e metallurgici, nell'eliminazione di rifiuti tossici, nel trattamento delle superfici e nell'industria microelettronica), in quanto non solo presentano un'efficienza superiore rispetto alle corrispondenti tecniche tradizionali, ma permettono di raggiungere obiettivi di interesse industriale il cui ottenimento sarebbe altrimenti di estrema difficoltà. Il modulo fornisce allo studente gli strumenti fondamentali per lo studio dei gas debolmente ionizzati, partendo dalla teoria del trasporto di sistemi di particelle cariche e neutre interagenti fino ad arrivare ai modelli per lo studio di dispositivi di interesse pratico.

### **PROGRAMMA**

#### **TEORIA DEL TRASPORTO (50%)**

Equazione di Boltzmann per i gas

Modello semplificato monodimensionale per una miscela di gas, dinamica delle collisioni e sezioni d'urto, derivazione dell'equazione di Boltzmann, teorema H, distribuzione di Maxwell-Boltzmann, cenni sulle condizioni al contorno e sugli apparenti paradossi del modello.

Derivazione rigorosa delle equazioni cinetiche

Funzioni di densità ad una e più particelle, equazione di Liouville, catena di Bogolyubov-Born-Green-Kirkwood-Yvon, campo autoconsistente, integrale degli urti, cenni sull'ipotesi di Bogolyubov, metodo multiple-time scale.

Derivazione delle equazioni dei fluidi a partire dalle equazioni cinetiche

Derivazione e interpretazione fisica dei parametri macroscopici di un fluido a partire dalla distribuzione microscopica, equazioni di continuità, cenni al metodo di Chapman-Enskog, soluzioni di ordine zero (equazioni dei fluidi ideali) e di ordine uno (modello di Navier-Stokes-Fourier).

Equazione del trasporto lineare

Equazione del trasporto lineare, formulazione integrale dell'equazione, modello monocinetico, soluzioni analitiche elementari.

Distribuzione energetica dei neutroni nella materia

Rallentamento dei neutroni in idrogeno, rallentamento continuo, funzione di Placzek, cenni sul calcolo delle risonanze e sullo studio dei mezzi eterogenei.

Equazioni cinetiche per sistemi non collisionali

Equazione di Vlasov, evoluzione di perturbazioni in plasmi non collisionali, two-stream instability, smorzamento di Landau.

## FISICA E APPLICAZIONI DEI GAS DEBOLMENTE IONIZZATI (50%)

Introduzione

Classificazione delle scariche nei gas, panoramica delle applicazioni dei gas debolmente ionizzati.

Processi elementari nei gas ionizzati

Collisioni tra atomi, ioni ed elettroni, principali sezioni d'urto, concetto di sezione d'urto di trasporto, proprietà elementari dei plasmi, concetto di breakdown.

Teoria cinetica dei gas debolmente ionizzati

Equazione del trasporto per le particelle cariche, equazione dei momenti, mobilità, modello drift-diffusion, diffusione ambipolare, equazione dell'energia, soluzione P1 dell'equazione del trasporto, distribuzione energetica degli elettroni.

Applicazioni industriali dei gas ionizzati

Gas ionizzati in non equilibrio termodinamico, scariche a bagliore capacitive e induttive, applicazioni alla tecnologia dei materiali, plasmi termici, scariche ad arco, torce ad induzione.

## LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Le esercitazioni prevedono:

### I MODULO

- la soluzione di problemi relativi alla teoria presentata a lezione
- l'utilizzo di programmi al calcolatore per la simulazione di fenomeni di tipo cinetico.

### II MODULO

- la soluzione di problemi relativi alla teoria presentata a lezione
- l'utilizzo di programmi al calcolatore per la simulazione di dispositivi industriali che fanno uso di gas debolmente ionizzati.

## BIBLIOGRAFIA

P. Schram, *Kinetic Theory of Gases and Plasmas*, Kluwer Academic Publisher, Londra, 1991.

G. Coppa, *Lezioni sulla Teoria del Trasporto*, Politecnico di Torino, 1999.

Yu. Raizer, *Gas Discharge Physics*, Springer, Berlino, 1991.

V.E. Golant, A.P. Zilinskij, S.E. Sacharov, *Fondamenti di Fisica dei Plasmi*, MIR, Mosca, 1983.

M.A. Lieberman, A.J. Lichtenberg, *Principles of Plasma Discharges and Material Processing*, Wiley, New York, 1994.

## ESAME

Per sostenere l'esame occorre consegnare una relazione su argomenti sviluppati nelle esercitazioni. L'esame consiste in una prova scritta di tipo teorico, seguita da un colloquio orale in cui vengono discusse la prova scritta e la relazione.



## UM016    **APPLICAZIONI FISICHE DELLA TEORIA DEI GRUPPI (IL CONCETTO DI SIMMETRIA DALL'ANTICHITÀ AD OGGI) (r)**

Periodo : 2

Impegno (ore)

lezioni: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Tullio REGGE**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso è incentrato sul concetto di simmetria. L'idea non è assolutamente quella di fare un corso monografico e astratto basato su formule, ma piuttosto quello di seguire le orme di Hermann Weyl, un grande matematico che ha scritto un testo classico sull'argomento di carattere interdisciplinare e che investe anche l'analisi di opere d'arte e di architettura. Sono estremamente numerose le strutture che hanno simmetrie nascoste, usualmente non riconosciute come tali, che durante lo svolgimento del corso saranno poste in luce.

### **PROGRAMMA**

Cenni storici partendo dal Timeo attraverso Galois e l'inizio della teoria dei gruppi.

Concetto di gruppo.

Simmetrie discrete e simmetrie continue.

Ruolo delle simmetrie nella Fisica sia classica sia quantistica.

Cristalli.

Simmetrie nella relatività ristretta.

Simmetria nelle particelle elementari. Materia e antimateria.

Valore estetico della simmetria.

Simmetria in biologia.

### **ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni prevedono l'approfondimento di temi specifici proposti dal docente e applicazioni sul riconoscimento di simmetrie nascoste.

### **BIBLIOGRAFIA**

D. Hilbert e Vossen-Cohen, *Geometria e intuizione*, Bollati Boringhieri.

H. Weyl, *Simmetria*, Bollati Boringhieri

### **ESAME**

La valutazione finale sarà basata sulle esercitazioni svolte e su una prova pratica scritta.

## UM017 ESTETICA (r)

Periodo: 2

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Roberto SALIZZONI**

---

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di illustrare le principali posizioni espresse nel corso del Novecento dalla filosofia e dalle scienze umane sui temi dell'arte e della bellezza. Estetica filosofica, antropologia, sociologia e psicologia, in un rapporto di dialogo e di reciproco scambio, elaborano teorie ed analisi dei fatti artistici e dei fenomeni della bellezza. E' possibile percorrere, seguendo i fili tematici dell'estetica, le aree più interessanti del discorso filosofico ed umanistico del nostro secolo. Il corso propone alcuni di questi percorsi, mirando a chiarire le diverse prospettive metodologiche, a mettere a punto un lessico filosofico essenziale, a introdurre gli autori più significativi.

### PROGRAMMA

Arte, linguaggio e comunicazione ( L'ecologia della mente secondo Bateson; i diversi modi di concepire l'inconscio da Freud alla "pragmatica della comunicazione"; stile, grazia e bellezza come condizioni della comunicazione).

Arte, tecnica, natura (Il rapporto tra arte, mito e scienza secondo C. Lévi-Strauss; l'arte come risposta possibile allo sviluppo della tecnica secondo W. Benjamin; tecnica e natura in M. Heidegger).

Creazione e ricezione dell'opera (R. Jauss e il piacere estetico; il problema dell'autore secondo l'ermeneutica).

Razionale e irrazionale nell'avanguardia ( T. Adorno sull'arte moderna asservita; le interpretazioni della pittura astratta come storia esemplare).

Paesaggio e collezione (Ambiente naturale e artificiale: un confronto tra ermeneutica e antropologia. J. Clifford, S. Stewart, H.G. Gadamer).

### BIBLIOGRAFIA

W. Tatarkiewicz, *Storia di sei Idee*, Palermo, Aesthetica

c. W. Benjamin, *L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica*, Torino, Einaudi.

C. Lévi-Strauss, *Il pensiero selvaggio*, Milano, il Saggiatore

G. Bateson, *Verso un'ecologia della mente*, Milano, Adelphi

H.R. Jauss, *Apologia dell'esperienza estetica*, Torino, Einaudi

AA. VV., *The spiritual in Art: Abstract Painting 1890-1985*, New York, Abbeville

S. Stewart, *On Longing*, Londra, Duke Univ. Press

J. Clifford, *I frutti puri impazziscono*, Torino, Bollati

T. W. Adorno, *Teoria estetica*, Torino, Einaudi

M. Heidegger, *Saggi e discorsi*, Milano, Mursia

Durante il corso saranno introdotte e commentate parti determinate delle opere indicate.

### ESAME

Sono previste prove scritte di verifica durante il corso e come prova finale.

Periodo: 2

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Alberto VOLTOLINI****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si incentrerà su alcuni dei principali temi di filosofia della mente che sono all'ordine del giorno del dibattito contemporaneo: la natura degli stati mentali, il rapporto mente - corpo (cervello) e il problema della loro interazione, la questione dei contenuti mentali e quella dell'intenzionalità, cioè del fatto che gli stati mentali vertano su cose ed eventi del mondo. Attraverso l'analisi di questi temi, si cercherà di illustrare le due fondamentali opzioni filosofiche che si fronteggiano a proposito della mente: la concezione riduzionista, per cui tutto ciò che è mentale rientra nell'ordine naturale del mondo e può dunque in linea di principio essere studiato dalle scienze naturali, e quella anti-riduzionista, per cui la mente ha certe proprietà speciali, per cui non può essere completamente compresa dalla scienza. All'interno di questo quadro, una specifica attenzione verrà dedicata ad un problema che il vertiginoso sviluppo delle scienze cognitive da un lato e dell'intelligenza artificiale dall'altro rende sempre più attuale, ossia se il paragone tra la mente e il computer fornisce la chiave per comprendere che cos'è davvero la mente o sia soltanto uno strumento utile per capire il suo funzionamento.

**PROGRAMMA**

Il dualismo cartesiano: mente e corpo come sostanze separate.

Il rifiuto della mente: il programma comportamentista. Limiti del programma.

Il materialismo radicale e quello moderato: varie teorie dell'identità tra stati mentali e stati cerebrali.

Il programma funzionalista e l'idea di 'realizzabilità multipla' di uno stato mentale.

Il funzionalismo computazionale: la mente come un computer. Macchine di Turing, test di Turing; le obiezioni (l'argomento di Searle della 'stanza cinese').

Il rapporto mente-corpo: sono gli stati mentali causalmente efficaci?

Il problema del contenuto mentale. L'importanza del contenuto per l'individuazione di uno stato mentale; irriducibilità o meno della proprietà di avere un contenuto per uno stato mentale (questione della 'naturalizzazione dell'intenzionalità').

**BIBLIOGRAFIA**

Testo base:

Di Francesco, M., *Introduzione alla filosofia della mente*, La Nuova Italia Scientifica, Roma 1996.

Testi di consultazione:

M. Salucci, *Mente/Corpo*, La Nuova Italia, Firenze 1997.

R. Lanfredini, *Intenzionalità*, La Nuova Italia, Firenze 1998.

**ESAME**

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta su un tema trattato nel corso.



Periodo : 1

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Gabriele LOLLI****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Un'introduzione ai temi attuali trattati dalla filosofia della scienza dopo la reazione al neopositivismo - scienza normale, rivoluzioni, progresso, incommensurabilità, costruzione sociale dei concetti, relativismo, post-modernismo - con letture commentate da Hanson, Wittgenstein, Kuhn, Feyerabend, Bloor, Latour.

**PROGRAMMA**

1° L'eredità del neopositivismo - Hanson e i "fatti carichi di teoria" - Kuhn, scienza normale e rivoluzioni - Feyerabend, contro il metodo - Bloor e la sociologia della scienza - La discussione attuale tra realisti e relativisti.

**BIBLIOGRAFIA**

R. N. Giere, *Understanding Scientific Reasoning*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1985.

G. Lolli, *Befte, scienziati e stregoni*, Il Mulino, Bologna, 1998.

E. Nagel, *La struttura della scienza*, Feltrinelli, Milano, 1985.

oltre a letture di testi originali.

**ESAME**

L'esame richiederà la presentazione di una relazione scritta su un tema o autore trattati nel corso.

**BIBLIOGRAFIA**

Testi base:

G. Lolli, *Befte, scienziati e stregoni*, Il Mulino, Bologna, 1998.G. Lolli, *La struttura della scienza*, Feltrinelli, Milano, 1985.E. Nagel, *La struttura della scienza*, Feltrinelli, Milano, 1985.R. N. Giere, *Understanding Scientific Reasoning*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1985.

Durante il corso sarà presentato il testo di base e si discuterà di esso.

L'esame richiederà la presentazione di una relazione scritta su un tema o autore trattati nel corso.

L'esame richiederà la presentazione di una relazione scritta su un tema o autore trattati nel corso.

## UM020 METODOLOGIA DELLE SCIENZE NATURALI B (IL METODO SCIENTIFICO) (r)

Periodo didattico: 1

Impegno (ore) lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente: **Gabriele LOLLI**

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Si discuteranno i concetti fondamentali del metodo scientifico. Attraverso alcune parole-chiave - come "osservazione", "esperimento", "prova", "causa" - mettendone in evidenza le diverse accezioni nei diversi periodi storici e nelle diverse aree di ricerca scientifica. Ad esempio per "esperimento" si potrà discutere il passaggio dalla osservazione naturale nella scienza antica, alla ideazione di situazioni artificiali nella scienza sperimentale del Seicento, alle imprese tecnologiche della big-science odierna.

### REQUISITI

Modulo Metodologia delle Scienze Naturali (A).

### PROGRAMMA

Ragionamento scientifico - Struttura logica delle teorie - Osservazioni, ipotesi, teorie, modelli, fatti, dati, cause, esperimenti, esperimenti mentali.

### BIBLIOGRAFIA

R. N. Giere, *Understanding Scientific Reasoning*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1985.

G. Lolli, *Beffe, scienziati e stregoni*, Il Mulino, Bologna, 1998.

E. Nagel, *La struttura della scienza*, Feltrinelli, Milano, 1985.

oltre a letture di testi originali.

### ESAME

L'esame richiederà la presentazione di una relazione scritta su un tema o autore trattati nel corso.

### BIBLIOGRAFIA

A. Battaglia, *La struttura della scienza*, Feltrinelli, Milano, 1985.

A. M. Chiari, *Lezioni di metodologia*, Roma, 1987.

D. S. Landes, *Paradise Lost: The American Scientific Revolution and the Origins of Modern Science, 1763-1846*, London, 1975.

### ESAME

L'esame prevede, a fianco della prova scritta di presentazione di una relazione scritta, la discussione di alcuni articoli a cui sarà o potranno essere riferimenti alcuni più recenti tentativi di spiegare la genesi e l'evoluzione della scienza moderna, con particolare riferimento alla genesi e all'evoluzione della lingua inglese.

## **UM021    PROPEDEUTICA FILOSOFICA (INTRODUZIONE AL PENSIERO CONTEMPORANEO) (R)**

Periodo: 1

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Diego MARCONI**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone d'illustrare, ad un livello elementare, concetti, metodi, ed esempi della ricerca filosofica attuale, in vari campi (metafisica, filosofia del linguaggio, filosofia della mente, filosofia morale). Sarà sottolineata la struttura argomentativa del discorso filosofico, cioè si cercherà di mettere in evidenza in che modo e con quali argomenti sono sostenute le diverse tesi filosofiche di volta in volta esaminate.

### **PROGRAMMA**

Filosofia (che cos'è e perché occuparsene).

L'esistenza di Dio (argomenti per l'esistenza di Dio; Dio e il male).

Giusto e sbagliato in senso morale (ci sono argomenti per l'altruismo? I principi e i valori morali sono universali?).

Libero arbitrio e determinismo.

Morte (c'è vita dopo la morte? La morte è buona, cattiva o indifferente? La morte degli altri e la propria morte).

Conoscenza (abbiamo vera conoscenza del mondo esterno, o hanno ragione gli scettici?).

Scienza (che cos'è il metodo scientifico? che cosa distingue la scienza dalla pseudoscienza?).

Arte (che cos'è? che differenza c'è tra un'opera d'arte e un oggetto non artistico?).

### **BIBLIOGRAFIA**

N. Warburton, *Il primo libro di filosofia*, Einaudi, Torino 1999.

T. Nagel, *Una brevissima introduzione alla filosofia*, Il Saggiatore, Milano 1989.

### **ESAME**

L'esame prevederà la presentazione di una relazione scritta su un testo filosofico concordato col docente, e un compito scritto finale.

## UM022 SOCIOLOGIA DEL LAVORO (r)

Periodo: 1

Impegno ore: 30 ore di lezione (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente: **Alberto BALDISSERA**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Scopo del corso è esaminare modi e forme di utilizzazione economica e sociale delle innovazioni tecnologiche. Particolare attenzione verrà dedicata all'analisi delle relazioni esistenti tra innovazioni tecnologiche ed organizzative nelle imprese economiche e in alcuni sistemi tecnologici complessi.

L'idea di fondo è che la diffusione delle innovazioni tecnologiche richiede adattamenti e innovazioni radicali nelle strutture organizzative delle imprese economiche, oltre a notevoli investimenti in istruzione e formazione professionale. A loro volta, le innovazioni organizzative, dal mutamento dei sistemi manageriali di controllo e dell'organizzazione del lavoro sino alle modifiche delle interfacce uomo-macchina, adattano le tecnologie alle esigenze produttive e del lavoro umano e contribuiscono a modificarle in misura rilevante.

### **PROGRAMMA**

Alcuni temi e problemi fondamentali della sociologia dell'azione sociale e della metodologia della ricerca sociologica.

Le relazioni tra processi di globalizzazione, innovazioni tecnologiche e occupazione, nei paesi europei e negli USA. Particolare attenzione verrà dedicata all'analisi delle politiche (riguardanti l'istruzione e la formazione professionale, il mercato del lavoro, le politiche pubbliche di welfare, l'innovazione di prodotti e di processi) messe in atto in questi paesi al fine di stimolare lo sviluppo economico e l'occupazione.

Le innovazioni organizzative (come il re-engineering o i programmi di total quality management) che accompagnano, stimolano e modificano l'introduzione delle tecnologie dell'informazione nelle organizzazioni industriali e dei servizi.

Le patologie dei sistemi tecnologici complessi, illustrate negli ultimi decenni da una serie di incidenti maggiori, da Seveso a Three Mile Island, Chernobil, Bophal, etc. Verranno in particolare definiti i concetti di interfaccia e di interazione uomo-macchina, di logica della progettazione e logica di utilizzazione dei sistemi tecnologici complessi, di organizzazione affidabile ed esaminate alcune teorie organizzative degli incidenti tecnologici.

### **BIBLIOGRAFIA**

A. Baldissera, *La tecnologia difficile*, Tirrena Stampatori, Torino, 1992.

A. M. Chiesi, *Lavori e professioni*, Roma, NIS, 1997.

D. S. Landes., *Prometeo liberato. Trasformazioni tecnologiche e sviluppo industriale nell'Europa occidentale dal 1750 ai giorni nostri*, Torino, Einaudi, 1978.

### **ESAME**

L'esame prevederà, a fianco della prova orale, la presentazione di una relazione scritta. Gli studenti saranno invitati a scrivere e presentare studi riguardanti uno o più incidenti tecnologici maggiori. In questo caso è indispensabile una buona conoscenza della lingua inglese.

Periodo : 1

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Chiara OTTAVIANO****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso mira a fornire strumenti di conoscenza utili per orientarsi all'interno della società contemporanea, oggi in profonda trasformazione anche rispetto alle innovazioni in corso nei modi e sistemi di comunicazioni. Non si tratta però solo di capire cosa ha implicato in tempi recenti la cosiddetta rivoluzione digitale, ma di comprendere come, sin dalle sue origini, i modi di produzione delle società industriali siano stati profondamente condizionati dai modi di comunicazione e trasmissione delle informazioni. Il corso avrà pertanto carattere interdisciplinare con punti di vista sociologici, economici, storici, culturali. Un'attenzione particolare sarà dedicata alle professioni e alle istituzioni coinvolte, nell'industria e nel mercato, ma anche al ruolo degli utenti finali, i consumatori, che possono o meno adottare le opportunità tecnologiche offerte. L'analisi di alcuni casi relativi all'introduzione di ormai "vecchi" mezzi di comunicazione sarà di ausilio per un approccio critico alla lettura di alcune ipotesi, oggi diffuse, intorno agli effetti e alle conseguenze delle cosiddette nuove tecnologie della comunicazione.

La stessa definizione di comunicazione di massa, coniata negli anni trenta, appare oggi non del tutto adeguata, giacché non comprende le innovazioni, tecniche e sociali, introdotte dalla telematica e dai mezzi che consentono interattività (in particolare Internet).

**ESERCITAZIONI**

Sono previste esercitazioni, con specifica attività di ricerca degli studenti, volte ad una riflessione originale e documentata su Internet.

**PROGRAMMA**

La cosiddetta "società dell'informazione": definizioni e quadro teorico.

Le tesi di J. Beniger sulla "rivoluzione del controllo", in riferimento all'origine della società dell'informazione.

Cenni sulla storia e l'evoluzione dei mezzi e dei modi di comunicazione.

Il tema della negoziazione sociale a proposito dell'introduzione di vecchie e nuove tecnologie della comunicazione: analisi di casi

**BIBLIOGRAFIA**

C.Ottaviano, *Mezzi per comunicare. Storia, società e affari dal telegrafo al modem*, Torino, Paravia, 1997.

J. Meyrowitz, *Oltre il senso del luogo. L'impatto dei media elettronici nel comportamento sociale*, Bologna, Baskerville 1993.

Nel corso delle lezioni saranno forniti materiali in fotocopia e indicazioni di estratti da altri volumi la cui conoscenza è essenziale per la preparazione all'esame (ca. 250pp), nonché un elenco dei saggi entro il quale il candidato sceglierà un secondo volume da presentare all'esame.

**ESAME**

L'esame prevede una prova scritta e una prova orale.

## **UM024    SOCIOLOGIA DELLE COMUNICAZIONI DI MASSA B (r)**

Periodo : 1

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Chiara OTTAVIANO**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso è da intendersi come un approfondimento del modulo I.

Al centro dell'attenzione saranno i mezzi di comunicazione di massa, e in particolare la radio, il cinema e la televisione, "agenti di socializzazione" fra i più significativi nella società contemporanea.

L'attenzione sarà rivolta alla tradizione degli studi sociologici sul tema, ma anche agli aspetti relativi al carattere industriale e agli apparati del broadcasting, alle professioni coinvolte, agli aspetti legislativi.

Specifiche esercitazioni saranno dedicate all'analisi del linguaggio audiovisivo con esempi tratti da fonti d'archivio come i cinegiornali, e da fonti coeve, come i telegiornali.

### **REQUISITI**

Aver superato l'esame del Modulo di Sociologia delle comunicazioni di massa A.

### **ESERCITAZIONI**

Sono previste esercitazioni, con specifica attività di ricerca degli studenti, volte ad una riflessione originale e documentata su Internet.

### **PROGRAMMA**

La comunicazione di massa: definizioni e quadro teorico.

Cinema e televisione: la riflessione del pensiero sociologico, tesi a confronto.

Il cinema e la televisione: industria, apparati e legislazione nel caso italiano.

Il linguaggio audiovisivo: esercizi con il televisore.

### **BIBLIOGRAFIA**

C.Ottaviano, *Mezzi per comunicare. Storia, società e affari dal telegrafo al modem*, Torino, Paravia, 1997.

J. Meyrowitz, *Oltre il senso del luogo. L'impatto dei media elettronici nel comportamento sociale*, Bologna, Baskerville 1993.

Nel corso delle lezioni saranno forniti materiali in fotocopia e indicazioni di estratti da altri volumi la cui conoscenza è essenziale per la preparazione all'esame (ca. 250pp), nonché un elenco dei saggi entro il quale il candidato sceglierà un secondo volume da presentare all'esame.

### **ESAME**

L'esame prevede una prova scritta e una prova orale.

Periodo: 2

Impegno (ore)                    lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:                            **Gian Carlo JOCTEAU****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso intende fornire agli studenti alcune categorie interpretative generali ed elementi di inquadramento cronologico intorno alle principali trasformazioni economiche, sociali e politiche avvenute dalla seconda metà del Settecento ai giorni nostri.

**PROGRAMMA**

La storia contemporanea e le sue periodizzazioni.

Lo sviluppo economico moderno.

Il progresso tecnico.

La rivoluzione industriale inglese e le vie di trasmissione dell'industrializzazione.

Le vie nazionali all'industrializzazione.

La crisi delle società di *ancien régime*.

L'andamento demografico.

Classi, ceti e gruppi sociali.

Lo stato moderno.

Gli stati liberali.

Democrazia, socialismo e totalitarismo.

Gli equilibri geopolitici ed i loro mutamenti.

**BIBLIOGRAFIA**

P. Macry, *La società contemporanea. Un'introduzione storica*, Il Mulino, Bologna, 1995.

S. Pollard, *La conquista pacifica. L'industrializzazione in Europa dal 1760 al 1970*, Il Mulino, Bologna, 1989.

**ESAME**

La valutazione finale si baserà su una relazione scritta e su una prova orale.

Periodo: 2

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

Gianni VATTIMO

### PRESENTAZIONE DEL CORSO

Breve storia della filosofia novecentesca centrato sul tema del rapporto tra "humanities" e mondo tecnico-scientifico: il filo conduttore è dunque ciò che la filosofia novecentesca (e non solo la filosofia in senso stretto: anche autori e testi di campi affini, come: letteratura, sociologia, tecnologia...) ha pensato circa la configurazione principalmente tecno-scientifica del mondo contemporaneo: posizioni polemiche, spesso, ma anche teorie che guardano alla scienza sperimentale come modello di conoscere "vero", e alla tecnologia come a luogo di sperimentazione per una nuova forma di umanità. Il corso non privilegia (anche se non ignora) le riflessioni filosofiche sulla scienza, non è cioè un corso di epistemologia; e anzi ritiene indispensabile allargare la prospettiva sulla storia delle idee nel senso più generale della parola.

### PROGRAMMA

I contenuti dei due corsi, strettamente integrati tra loro, prevedono lo sviluppo della storia dei principali movimenti filosofici del Novecento centrata sul rapporto esistenza-tecnica. In particolare si approfondiranno i seguenti temi:

Lo spirito dell'avanguardia: E. Bloch e l'espressionismo

Tempo vissuto e libertà in Bergson

Esistenzialismo e autenticità

La scuola del sospetto: Nietzsche, Freud, Marx

La scienza come modello: Wittgenstein, Popper

La scuola di Francoforte e la critica della razionalizzazione

Nichilismo: Sartre, Heidegger, Pareyson

Dalla linguistica all'antropologia e dall'antropologia alla linguistica: Lévi Strauss, Bateson, la scuola di Palo Alto e la pragmatica della comunicazione.

Postmoderno e narrativa: Lyotard e P. Ricoeur

Le grandi svolte dell'etica

Il dialogo, la virtù, la comunità

Filosofia della religione, il problema del sacro

### BIBLIOGRAFIA

G. Vattimo, *Tecnica ed esistenza*, Paravia, Torino, 1998.

AA. VV., *Dizionario di filosofia e scienze umane*, Garzanti.

Durante il corso sarà fornito dal docente ulteriore materiale didattico.

### ESAME

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta.



## UM027      **STORIA DELLA TECNICA A (MACCHINE E SISTEMI INDUSTRIALI) (r)**

Periodo: 1

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti:5

Docente:

**Vittorio MARCHIS**

---

### **PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso vuole fornire agli studenti la capacità di inquadrare gli oggetti e i sistemi tecnici nella loro prospettiva storica. A tal fine il corso prende l'avvio da alcune fondamentali premesse sul concetto di storia, sul ruolo e sulle finalità della ricerca storica, e specificamente sul significato della storia della tecnologia. In parallelo vengono presi in esame i momenti salienti della storia dell'economia e del pensiero scientifico. Nella seconda parte del corso sono analizzati, con particolare attenzione al XX secolo, i sistemi tecnici più significativi, e i loro contesti sociali ed economici.

### **PROGRAMMA**

*La storia come scienza.* Le scritture come fondamento della storia: il documento. La ricerca storica. I temi e le idee della storia. Cronologia e storia. La storia e "le storie".

*La "scienza nuova" e il passaggio "dal mondo del pressappoco all'universo della precisione"* (A.Koyré).

La nascita della metallurgia nel '500; la "meccanica" da Guidobaldo del Monte a Galilei a Newton; la nascita delle Accademie e delle istituzioni scientifiche. Il macchinismo e il mito del progresso. Il Settecento e la coscienza della tecnologia. L'Illuminismo e le Enciclopedie.

*La Rivoluzione industriale.* L'industria dei metalli e gli arsenali. Il vapore. L'istruzione tecnica. L'Ottocento e il trionfo delle macchine.

*La grande industria:* Il macchinismo e la diffusione del sistema di fabbrica: Inghilterra, Francia, Germania, Italia. La nascita dell'elettricità. I sistemi tecnici: il telegrafo; le ferrovie; l'industria chimica. I politecnici e le scuole di ingegneria. La diffusione del sapere tecnico: le Esposizioni industriali; i brevetti. L'ottimismo "fin-de-siècle". Le crisi e le speranze del XX secolo. Le costruzioni in ferro e in cemento armato.

*Gli scenari del XX secolo:* La nascita dell'aeronautica. Il sistema industriale e il modello tayloristico. I grandi sistemi tecnici: elettricità, telecomunicazioni, trasporti. I limiti dello sviluppo. Le rivoluzioni informatiche. La Big Science e i Large Systems.

### **ESERCITAZIONE**

Durante il corso, gli studenti affronteranno la lettura critica di almeno un saggio significativo scelto da un elenco di titoli proposti dal docente. Su tale lettura e sui suoi approfondimenti verterà la relazione scritta che dovrà essere preparata per la valutazione finale.

### **BIBLIOGRAFIA**

G. Anders, *L'uomo è antiquato. La terza rivoluzione industriale*, (Bollati Boringhieri), Torino 1992.

J. R. Beniger, *Le origini della società dell'informazione. La rivoluzione del controllo*, (Utet Libreria), Torino 1995.

A.D. Chandler jr., *Dimensione e diversificazione. Le dinamiche del capitalismo industriale*, (Il Mulino), Bologna 1994.

D. Harvey, *La crisi della modernità*, (Il Saggiatore), Milano 1993.

V. Marchis, *Storia delle macchine*, (Ed. Laterza), Roma-Bari 1994.

V. Marchis (a cura di), *Storia delle scienze vol.V (Conoscenze scientifiche e trasferimento tecnologico)*, (Einaudi), Torino 1995.

- M. McLuhan, *Gli strumenti del comunicare*, (Il Saggiatore), Milano 1997.  
 M. Nacci, *La crisi del progresso. Saggio di storia delle idee 1895-1935*, (Guerini e Associati), Milano 1994.  
 D. Noble, *La questione tecnologica*, (Bollati Boringhieri), Torino 1993.  
 N. Rosenberg, *Dentro la scatola nera*, (Il Mulino), Bologna 1991.

## ESAME

Per sostenere l'esame è richiesta la presentazione di una relazione scritta sull'approfondimento scelto in accordo con il docente. Detta relazione sarà discussa in sede di accertamento nell'esame orale finale.

Periodo: 1

Impegno (ore)

lezione: 30 (6 ore settimanali)

Crediti: 5

Docente:

**Vittorio MARCHIS****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso vuole fornire agli studenti la capacità di inquadrare gli oggetti e i sistemi tecnici nella loro prospettiva storica. A tal fine il corso prende l'avvio da alcune fondamentali premesse sul concetto di storia, sul ruolo e sulle finalità della ricerca storica, e specificamente sul significato della storia della tecnologia. In parallelo vengono presi in esame i momenti salienti della storia dell'economia e del pensiero scientifico. Nella seconda parte del corso sono analizzati, con particolare attenzione al XX secolo, i sistemi tecnici più significativi, e i loro contesti sociali ed economici.

**REQUISITI**

Modulo di Storia della Tecnica (A)

**PROGRAMMA**

*La storia della tecnica.* Una storia di contesti socioeconomici. La rivoluzione agricola e la rivoluzione industriale.

*La storia della scienza e la storia del pensiero scientifico.* I grandi temi del pensiero scientifico moderno in relazione alla società industriale. Il ruolo della macchina.

*La storia dell'economia e del pensiero economico.* I contesti economici nella società industriale. Le interpretazioni dei fenomeni economici. (A.Smith, D.Ricardo, K.Marx, J.Schumpeter, J.M.Keynes, G.Friedman, N.Rosenberg).

*La macchina tra utopie e realtà.* Le utopie tecnologiche, l'idea di progresso e lo sviluppo della società industriale.

**ESERCITAZIONE**

Durante il corso, gli studenti affronteranno la lettura critica di almeno un saggio significativo scelto da un elenco di titoli proposti dal docente. Su tale lettura e sui suoi approfondimenti verterà la relazione scritta che dovrà essere preparata per la valutazione finale.

**BIBLIOGRAFIA**

G. Anders, *L'uomo è antiquato. La terza rivoluzione industriale*, (Bollati Boringhieri), Torino 1992.

J. R. Beniger, *Le origini della società dell'informazione. La rivoluzione del controllo*, (Utet Libreria), Torino 1995.

A.D. Chandler jr., *Dimensione e diversificazione. Le dinamiche del capitalismo industriale*, (Il Mulino), Bologna 1994.

D. Harvey, *La crisi della modernità*, (Il Saggiatore), Milano 1993.

V. Marchis, *Storia delle macchine*, (Ed. Laterza), Roma-Bari 1994.

V. Marchis (a cura di), *Storia delle scienze vol.V (Conoscenze scientifiche e trasferimento tecnologico)*, (Einaudi), Torino 1995.

M. McLuhan, *Gli strumenti del comunicare*, (Il Saggiatore), Milano 1997.

M. Nacci, *La crisi del progresso. Saggio di storia delle idee 1895-1935*, (Guerini e Associati), Milano 1994.

D. Noble, *La questione tecnologica*, (Bollati Boringhieri), Torino 1993.

N. Rosenberg, *Dentro la scatola nera*, (Il Mulino), Bologna 1991.

## ESAME

Per sostenere l'esame è richiesta la presentazione di una relazione scritta sull'approfondimento scelto in accordo con il docente. Detta relazione sarà discussa in sede di accertamento nell'esame orale finale.

Q1111	...	26
Q1121	...	26
Q1131	...	26
Q1141	...	26
Q1151	...	26
Q1161	...	26
Q1171	...	26
Q1181	...	26
Q1191	...	26
Q1201	...	26
Q1211	...	26
Q1221	...	26
Q1231	...	26
Q1241	...	26
Q1251	...	26
Q1261	...	26
Q1271	...	26
Q1281	...	26
Q1291	...	26
Q1301	...	26
Q1311	...	26
Q1321	...	26
Q1331	...	26
Q1341	...	26
Q1351	...	26
Q1361	...	26
Q1371	...	26
Q1381	...	26
Q1391	...	26
Q1401	...	26
Q1411	...	26
Q1421	...	26
Q1431	...	26
Q1441	...	26
Q1451	...	26
Q1461	...	26
Q1471	...	26
Q1481	...	26
Q1491	...	26
Q1501	...	26
Q1511	...	26
Q1521	...	26
Q1531	...	26
Q1541	...	26
Q1551	...	26
Q1561	...	26
Q1571	...	26
Q1581	...	26
Q1591	...	26
Q1601	...	26
Q1611	...	26
Q1621	...	26
Q1631	...	26
Q1641	...	26
Q1651	...	26
Q1661	...	26
Q1671	...	26
Q1681	...	26
Q1691	...	26
Q1701	...	26
Q1711	...	26
Q1721	...	26
Q1731	...	26
Q1741	...	26
Q1751	...	26
Q1761	...	26
Q1771	...	26
Q1781	...	26
Q1791	...	26
Q1801	...	26
Q1811	...	26
Q1821	...	26
Q1831	...	26
Q1841	...	26
Q1851	...	26
Q1861	...	26
Q1871	...	26
Q1881	...	26
Q1891	...	26
Q1901	...	26
Q1911	...	26
Q1921	...	26
Q1931	...	26
Q1941	...	26
Q1951	...	26
Q1961	...	26
Q1971	...	26
Q1981	...	26
Q1991	...	26
Q2001	...	26