

FACOLTÀ	Ingegneria
ANNO ACCADEMICO	2013-2014
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE	Ingegneria Energetica e Nucleare
INSEGNAMENTO	INGEGNERIA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI A FISSIONE E A FUSIONE
TIPO DI ATTIVITÀ	Caratterizzante
AMBITO DISCIPLINARE	Ingegneria Energetica e Nucleare
CODICE INSEGNAMENTO	13531
ARTICOLAZIONE IN MODULI	NO
NUMERO MODULI	-
SETTORI SCIENTIFICO DISCIPLINARI	ING-IND/19
DOCENTE RESPONSABILE	Giuseppe Vella Professore Ordinario Università di Palermo
DOCENTE COINVOLTO	Pietro Alessandro Di Maio Ricercatore Università di Palermo
CFU	12
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	192
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITÀ DIDATTICHE ASSISTITE	108 (64 di lezioni frontali, 34 di esercitazioni e 10 di laboratorio)
PROPEDEUTICITÀ	Calcolo, Fisica, Principi di Ingegneria Nucleare, Impianti Nucleari
ANNO DI CORSO	Primo
SEDE DI SVOLGIMENTO DELLE LEZIONI	Consultare il sito www.ingegneria.unipa.it
ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	Lezioni frontali, Esercitazioni in aula, Laboratorio di simulazione della dinamica del reattore nucleare
MODALITÀ DI FREQUENZA	Facoltativa
METODI DI VALUTAZIONE	Prova Orale
TIPO DI VALUTAZIONE	Voto in trentesimi
PERIODO DELLE LEZIONI	Consultare il sito www.ingegneria.unipa.it
CALENDARIO DELLE ATTIVITÀ DIDATTICHE	Consultare il sito www.ingegneria.unipa.it
ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI	Lunedì – mercoledì – venerdì h.10 ÷ 11

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente, al termine del corso, avrà maturato un opportuno livello di conoscenza e di comprensione sui seguenti argomenti:

- Principio di funzionamento di un reattore a fissione nucleare
- Reattori nucleari di I e II Generazione: principali filiere e relativi schemi di impianto
- Reattori nucleari di III e IV Generazione: principali filiere, relativi schemi di impianto e aspetti di maggiore sicurezza intrinseca e passiva
- Elementi di regolazione di un reattore a fissione nucleare

- Ingegneria dei principali componenti di un reattore a fissione nucleare (Vessel, Barre di Controllo, Pompe, Circuiti di refrigerazione, Pressurizzatore e Scambiatore di Calore, Contenimento)
- Reazioni di fusione nucleare, plasmi, sezioni d'urto, tasso di reazione e parametro di reazione
- Modelli fisico-matematici per la descrizione della dinamica di un plasma
- Break-even ed ignizione di un plasma: criteri di Lawson
- Metodo di confinamento inerziale di un plasma
- Metodo di confinamento magnetico di un plasma; Macchine TOKAMAK e Stellarator
- Dinamica del trizio in un reattore a fusione di potenza
- Problematiche tecnologiche connesse allo sfruttamento su scala industriale della reazione di fusione nucleare e principali schemi di impianto allo studio

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente, al termine del corso, avrà maturato un opportuno livello di conoscenza e di comprensione applicate sui seguenti argomenti:

- Analisi e dimensionamento del core di un impianto nucleare di tipo LWR
- Analisi e dimensionamento del Vessel e dei Circuiti in pressione di un impianto nucleare di tipo LWR
- Analisi e dimensionamento delle valvole e delle pompe di circolazione e/o di alimentazione di un impianto nucleare di tipo LWR
- Studio della dinamica di un plasma D – T tramite un modello a parametri concentrati
- Analisi delle prestazioni di un sistema di confinamento magnetico di tipo TOKAMAK
- Studio della dinamica del trizio in un reattore a fusione di potenza di tipo DEMO

Autonomia di giudizio

Lo studente, al termine del corso, avrà maturato un opportuno livello di autonomia di giudizio sui seguenti argomenti:

- Comprensione di rapporti tecnici pertinenti ad impianti ad alta intensità energetica
- Progettazione di componenti ad alto flusso termico e mantelli triziogeni di reattori a fusione
- Valutazione di massima dell'inventario di Trizio in un impianto a fusione di data potenza

Abilità comunicative

Lo studente, al termine del corso, avrà maturato un opportuno livello di dimestichezza con il linguaggio tecnico-scientifico impiegato nell'ambito dell'ingegneria degli impianti ad alta intensità energetica con specifico riferimento a quelli nucleari a fissione ed a fusione

Capacità d'apprendimento

Lo studente, al termine del corso, avrà sviluppato la capacità di apprendere le problematiche scientifico-tecnologiche che caratterizzano lo sviluppo e la progettazione dei più rilevanti componenti di reattori nucleari a fissione ed a fusione

OBIETTIVI FORMATIVI – PARTE PRIMA

La prima parte del corso mira ad approfondire le tematiche connesse alla progettazione dei principali componenti circuitali e di controllo di un impianto elettronucleare di II e III generazione. L'attenzione sarà focalizzata sul principio di funzionamento di un tipico impianto nucleare a fissione e sulla individuazione dei suoi componenti chiave e delle relative funzioni. Si procederà alla classificazione di tali impianti in generazioni, concentrando l'attenzione sugli impianti di I e II generazione. Si continuerà classificando quest'ultimi in reattori termici, epidermici e veloci coerentemente con lo spettro energetico dei neutroni di fissione e, in relazione ai primi, si considereranno le principali filiere di reattori, classificandole in relazione alla tipologia ed allo stato del moderatore previsto.

L'attenzione si concentrerà in seguito sulla descrizione della metodologia di progettazione di componenti di impianti nucleari, approfondendo l'aspetto concernente la normativa ASME di pertinenza. Successivamente si descriveranno le caratteristiche costruttive e funzionali dei tipici circuiti di un impianto elettronucleare e si illustreranno i principi dell'ingegneria dei circuiti idraulici di un tal tipo di impianto. Verranno in seguito esaminati nel dettaglio gli elementi di progettazione relativi ai seguenti componenti di impianto:

- Barre di controllo
- Vessel, contenitori in pressione e pressurizzatore
- Pompe e Valvole
- Scambiatore di Calore

PARTE I	INGEGNERIA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI A FISSIONE
ORE FRONTALI	LEZIONI FRONTALI
2	Principio di funzionamento e classificazione degli impianti nucleari a fissione
2	Reattori a fissione moderati ad acqua: Principali filiere e relativi schemi di impianto – Nocciolo - Elementi di combustibile – Vessel – Pressurizzatore – Generatore di vapore – Pompe di circolazione ed alimentazione
3	Tipici componenti di un impianto elettronucleare
3	Ingegneria dei circuiti idraulici di un impianto nucleare
2	Elementi di progettazione delle Barre di controllo di un impianto nucleare
4	Elementi di progettazione di Vessel e contenitori in pressione
4	Elementi di progettazione del Pressurizzatore di un impianto nucleare
4	Elementi di progettazione delle Pompe di un impianto nucleare
4	Elementi di progettazione delle Valvole di un impianto nucleare
4	Elementi di progettazione dello Scambiatore di Calore di un impianto nucleare
	ESERCITAZIONI
2	Elementi di progettazione delle Barre di controllo di un impianto nucleare
2	Elementi di progettazione di Vessel e contenitori in pressione
2	Elementi di progettazione del Pressurizzatore di un impianto nucleare
2	Elementi di progettazione delle Pompe di un impianto nucleare
2	Elementi di progettazione delle Valvole di un impianto nucleare
2	Elementi di progettazione dello Scambiatore di Calore di un impianto nucleare
	LABORATORIO
10	Simulatore IAEA di impianti nucleari a fissione
TESTI CONSIGLIATI	<ul style="list-style-type: none"> • M. Cumo, Impianti Nucleari, UTET • C. Lombardi, Impianti Nucleari, CUSL • J. R. Lamarsh, Introduction to Nuclear Engineering, Addison&Wesley • Dispense su alcuni degli argomenti del corso

OBIETTIVI FORMATIVI – PARTE SECONDA

La seconda parte del corso mira a fornire una panoramica delle principali problematiche ingegneristiche connesse al funzionamento ed allo sviluppo di reattori a fusione nucleare, analizzandone i principali componenti e le pertinenti funzioni e condizioni di sollecitazione.

L'attenzione sarà focalizzata sulle principali reazioni di fusione nucleare ipotizzate per lo sviluppo di reattori su scala industriale e sulle relative caratteristiche energetiche. Si introdurrà il concetto di plasma quale quarto stato di aggregazione della materia e se ne definiranno le principali grandezze fisico-matematiche che ne consentono la caratterizzazione del comportamento quali la funzione di distribuzione delle specie particellari, la temperatura assoluta nonché il tasso ed il parametro di reazione. Si esamineranno i principali processi collisionali tra particelle cariche di un plasma,

introducendo il concetto di lunghezza di Debye e si appunterà l'attenzione sull'emissione di radiazioni di bremsstrahlung e di ciclotrone. Si procederà allo sviluppo dei modelli cinetici e dei modelli fluidi di un plasma, appuntando l'attenzione su un modello semplificato di plasma omogeneo ed uniforme, che verrà applicato al caso di un plasma D-T. Infine, si introdurranno i concetti di break-even ed ignizione e se ne deriveranno i pertinenti criteri di Lawson.

Successivamente, l'attenzione sarà focalizzata sul confinamento del plasma e sulle relative metodologie, con particolare riferimento al confinamento magnetico, nel qual caso si studierà il moto di una particella carica in un campo elettromagnetico in presenza di campi esterni, evidenziandone i moti di deriva e gli invarianti del moto. Si analizzeranno le caratteristiche e la stabilità dei sistemi di confinamento magnetico aperti e chiusi, con particolare attenzione alle macchine TOKAMAK. Successivamente si studieranno i principali componenti di un reattore TOKAMAK, quali i magneti, il blanket ed i componenti ad alto flusso, e si studieranno le interazioni plasma parete e la dinamica del trizio in un reattore di tal tipo.

PARTE II	INGEGNERIA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI A FUSIONE
ORE FRONTALI	LEZIONI FRONTALI
2	Reazione di fusione nucleare - Note sulla dinamica di una reazione di fusione nucleare - Energia di soglia - Sezione d'urto
3	Il plasma - Funzioni di distribuzione delle particelle, temperatura assoluta, tasso di reazione e parametro di reazione
3	Processi collisionali di particelle cariche - Sezione d'urto di scattering elastico - Lunghezza di Debye - Radiazioni di bremsstrahlung e di ciclotrone
2	Modello cinetico di un plasma - Equazione del trasporto di Boltzmann - Equazione di Vlasov
2	Modelli fluidi di un plasma - Equazioni di continuità, della quantità di moto e dell'energia di una popolazione di particelle - Tempi di confinamento
2	Modello dinamico di un plasma omogeneo ed uniforme
2	Break-even ed ignizione - Criteri di Lawson
1	Confinamento del plasma - Confinamento elettrostatico - Confinamento gravitazionale - Confinamento inerziale - Confinamento magnetico
3	Metodo di confinamento magnetico - Moto di una particella carica in un campo elettromagnetico - Moti di deriva - Invarianti del moto
2	Sistemi di confinamento magnetico aperti - Pressione cinetica e magnetica - Specchi magnetici - Instabilità
3	Sistemi di confinamento magnetico chiusi - Campi toroidali e poloidali - Macchina TOKAMAK: confinamento delle particelle, equilibrio e stabilità - Macchina Stellarator
3	Principali componenti di un reattore di tipo TOKAMAK: magneti, blanket e componenti ad alto flusso - Interazioni plasma parete ed effetto delle impurità
3	Modelli per la dinamica del trizio - Tritium breeding
1	Reattori JET, ITER e DEMO
	ESERCITAZIONI
2	Il plasma - Funzioni di distribuzione delle particelle, temperatura assoluta, tasso di reazione e parametro di reazione
2	Processi collisionali di particelle cariche - Sezione d'urto di scattering elastico - Lunghezza di Debye - Radiazioni di bremsstrahlung e di ciclotrone
4	Modello dinamico di un plasma omogeneo ed uniforme: Applicazione ad un plasma di tipo DT
2	Break-even ed ignizione - Criteri di Lawson
4	Metodo di confinamento magnetico - Moto di una particella carica in un

	campo elettromagnetico - Moti di deriva - Invarianti del moto
2	Sistemi di confinamento magnetico aperti - Pressione cinetica e magnetica - Specchi magnetici - Instabilità
2	Sistemi di confinamento magnetico chiusi - Campi toroidali e poloidali - Macchina TOKAMAK: confinamento delle particelle, equilibrio e stabilità - Macchina Stellarator
2	Modelli per la dinamica del trizio - Tritium breeding
2	Reattori JET, ITER e DEMO
TESTI CONSIGLIATI	<ul style="list-style-type: none"> • T. Dolan, Fusion Research – Vol. I-III, Pergamon Press, 1982 • Harms et alii, Principles of Fusion Energy, World Scientific, 2000 • F. Chen, Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion, Plenum Press, 1984