

FACOLTÀ	Ingegneria
ANNO ACCADEMICO	2012-2013
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE	Ingegneria Energetica e Nucleare
INSEGNAMENTO	Ingegneria degli Impianti Nucleari a Fissione ed a Fusione
TIPO DI ATTIVITÀ	Caratterizzante
AMBITO DISCIPLINARE	Ingegneria Energetica e Nucleare
CODICE INSEGNAMENTO	13531
ARTICOLAZIONE IN MODULI	SI
NUMERO MODULI	3
SETTORI SCIENTIFICO DISCIPLINARI	ING-IND/19
DOCENTE RESPONSABILE (MODULO I)	Giuseppe Vella Professore Ordinario Università di Palermo
DOCENTE COINVOLTO (MODULO II)	Pietro Alessandro Di Maio Ricercatore Università di Palermo
CFU	12
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	190
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITÀ DIDATTICHE ASSISTITE	110 (80 di lezioni frontali e 30 di esercitazioni)
PROPEDEUTICITÀ	Calcolo, Fisica, Metodi Matematici, Principi di Ingegneria Nucleare, Impianti Nucleari
ANNO DI CORSO	I
SEDE DI SVOLGIMENTO DELLE LEZIONI	Consultare il sito www.ingegneria.unipa.it
ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	Lezioni frontali, Esercitazioni in aula
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 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 DEL MODULO I

Il modulo 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

MODULO I	INGEGNERIA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI
ORE FRONTALI	LEZIONI FRONTALI
1	Principio di funzionamento di un reattore a fissione
2	Classificazione dei reattori nucleari a fissione in I, II, III e IV Generazione
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
5	Ingegneria dei circuiti idraulici di un impianto nucleare
2	Elementi di progettazione delle Barre di controllo di un impianto nucleare
5	Elementi di progettazione di Vessel e contenitori in pressione
5	Elementi di progettazione del Pressurizzatore di un impianto nucleare
5	Elementi di progettazione delle Pompe di un impianto nucleare
5	Elementi di progettazione delle Valvole di un impianto nucleare
5	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
3	Elementi di progettazione delle Pompe di un impianto nucleare
3	Elementi di progettazione delle Valvole di un impianto nucleare
3	Elementi di progettazione dello Scambiatore di Calore di un impianto nucleare
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 DEL MODULO II – PARTE I

Il modulo mira a formare un corpus di conoscenze di fisica del plasma propedeutiche allo studio delle funzioni e del comportamento dei principali componenti di un reattore a fusione nucleare. 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 in 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.

MODULO II – PARTE I	INGEGNERIA DEI REATTORI A FUSIONE - I
ORE FRONTALI	LEZIONI FRONTALI
1	Reazione di fusione nucleare
1	Cenni 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 – Principio di quasi-neutralità del plasma
2	Processi collisionali di particelle cariche – Sezione d’urto di scattering elastico - Lunghezza di Debye – Radiazioni di Bremsstrahlung e di ciclotrone
3	Modello cinetico di un plasma – Equazione del trasporto di Boltzmann – Equazione di Vlasov
4	Modelli fluidi di un plasma – Equazioni di continuità, della quantità di moto e dell’energia di una popolazione di particelle – Tempi di confinamento – Modello magnetoidrodinamico di un plasma
3	Modello dinamico di un plasma omogeneo ed uniforme. Applicazione al caso di plasmi D - T
2	Break-even ed ignizione: criteri di Lawson
	ESERCITAZIONI
2	Il plasma – Funzioni di distribuzione delle particelle, temperatura assoluta, tasso di reazione e parametro di reazione – Principio di quasi-neutralità del plasma
1	Processi collisionali di particelle cariche – Sezione d’urto di scattering elastico - Lunghezza di Debye – Radiazione di Bremsstrahlung
1	Modelli fluidi di un plasma – Equazioni di continuità, della quantità di moto e dell’energia di una popolazione di particelle – Tempi di confinamento – Modello magnetoidrodinamico di un plasma
3	Modello dinamico di un plasma omogeneo ed uniforme. Applicazione al caso di plasmi D - T
1	Break-even ed ignizione: criteri di Lawson
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

OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO MODULO II – PARTE II

Il modulo mira a fornire una panoramica delle principali problematiche ingegneristiche connesse allo sviluppo di reattori a fusione nucleare, analizzandone i principali componenti e le pertinenti funzioni e condizioni di sollecitazione.

L’attenzione sarà focalizzata sul confinamento del plasma e sulle relative metodologie con particolare riferimento al confinamento inerziale ed a quello magnetico. Per quanto concerne il primo se ne studierà il bilancio energetico, definendo l’energia di compressione. Per quanto attiene al secondo 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 ai reattori 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.

MODULO II – PARTE II	INGEGNERIA DEI REATTORI A FUSIONE - II
ORE FRONTALI	LEZIONI FRONTALI
1	Confinamento del plasma – Confinamento elettrostatico – Confinamento gravitazionale - Confinamento inerziale – Confinamento magnetico
2	Metodo di confinamento inerziale – Parametro ρ -R – Bilancio energetico ed energia di compressione
4	Metodo di confinamento magnetico: Moto di una particella carica in un campo elettromagnetico – Moti di deriva dovuti a campi esterni, campi variabili in intensità ed in direzione – Invarianti del moto
3	Sistemi di confinamento magnetico aperti – pressione cinetica e magnetica – Specchi magnetici - Instabilità
4	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
1	Metodo di confinamento inerziale – Parametro ρ -R – Bilancio energetico ed energia di compressione
1	Metodo di confinamento magnetico: Moto di una particella carica in un campo elettromagnetico – Moti di deriva dovuti a campi esterni, campi variabili in intensità ed in direzione – Invarianti del moto
1	Sistemi di confinamento magnetico aperti – pressione cinetica e magnetica – Specchi magnetici - Instabilità
1	Sistemi di confinamento magnetico chiusi – Campi toroidali e poloidali – Reattori TOKAMAK e Stellarator: confinamento, equilibrio e stabilità
1	Principali componenti di un reattore di tipo TOKAMAK: magneti, blanket e componenti ad alto flusso – Interazioni plasma parete ed effetto delle impurità
2	Modelli per la dinamica del trizio - Tritium breeding
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