



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO	Ingegneria		
ANNO ACCADEMICO OFFERTA	2016/2017		
ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE	2017/2018		
CORSO DILAUREA MAGISTRALE	INGEGNERIA ENERGETICA E NUCLEARE		
INSEGNAMENTO	IMPIANTI NUCLEARI A FUSIONE		
TIPO DI ATTIVITA'	B		
AMBITO	50367-Ingegneria energetica e nucleare		
CODICE INSEGNAMENTO	18027		
SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI	ING-IND/19		
DOCENTE RESPONSABILE	DI MAIO PIETRO ALESSANDRO	Professore Ordinario	Univ. di PALERMO
ALTRI DOCENTI			
CFU	6		
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	96		
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA	54		
PROPEDEUTICITA'			
MUTUAZIONI			
ANNO DI CORSO	2		
PERIODO DELLE LEZIONI	1° semestre		
MODALITA' DI FREQUENZA	Facoltativa		
TIPO DI VALUTAZIONE	Voto in trentesimi		
ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI	DI MAIO PIETRO ALESSANDRO Lunedì 10:00 11:00 Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici - Edificio 6 - I Piano - Stanza 115 Mercoledì 10:00 11:00 Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici - Edificio 6 - I Piano - Stanza 115 Venerdì 10:00 11:00 Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici - Edificio 6 - I Piano - Stanza 115		

DOCENTE: Prof. PIETRO ALESSANDRO DI MAIO

PREREQUISITI	Conoscenze dei fondamenti di: <ul style="list-style-type: none">- calcolo differenziale ed integrale- fisica classica- elettromagnetismo- teoria cinetica dei gas- ingegneria nucleare- teoria del trasporto di massa, quantità di moto ed energia
RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI	<p>CONOSCENZA E CAPACITA' DI COMPrensIONE Lo studente, al termine del corso, avra' maturato un opportuno livello di conoscenza e di capacita' di comprensione sui seguenti argomenti:</p> <ul style="list-style-type: none">- Reazioni di fusione nucleare, plasmi, sezioni d'urto, tasso di reazione, parametro di reazione- Processi collisionali, effetto Debye, radiazioni di frenamento e di ciclotrone- Modelli fisico-matematici per la descrizione della dinamica di un plasma- Dinamica particellare ed energetica di un plasma- Analisi energetica di un plasma, break-even, ignizione e relativi criteri di Lawson- Metodo di confinamento inerziale di un plasma- Metodo di confinamento magnetico di un plasma, moto di una particella carica in un campo di induzione magnetica, specchi magnetici, 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 <p>La valutazione avverra' tramite prova orale.</p> <p>CAPACITA' DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE Lo studente, al termine del corso, avra' maturato un opportuno livello di conoscenza e di comprensione applicate sui seguenti argomenti:</p> <ul style="list-style-type: none">- Studio della dinamica particellare di un plasma D – T tramite un modello a parametri concentrati- Studio della dinamica energetica di un plasma D – T tramite un modello a parametri concentrati- Analisi delle prestazioni di un sistema di confinamento magnetico aperto- Analisi delle prestazioni di un sistema di confinamento magnetico chiuso di tipo TOKAMAK- Studio della dinamica del trizio in un reattore a fusione nucleare di potenza <p>La valutazione avverra' tramite prova orale.</p> <p>AUTONOMIA DI GIUDIZIO Lo studente, al termine del corso, avra' maturato un opportuno livello di autonomia di giudizio sui seguenti argomenti:</p> <ul style="list-style-type: none">- Comprensione di rapporti tecnici pertinenti ad impianti ad alta intensita' energetica- Dinamica particellare ed energetica di un plasma D-T- Valutazione delle prestazioni 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 nucleare di potenza <p>La valutazione avverra' tramite prova orale.</p> <p>ABILITA' COMUNICATIVE Lo studente, al termine del corso, avra' maturato un opportuno livello di dimestichezza con il linguaggio tecnico-scientifico impiegato nell'ambito dell'ingegneria degli impianti ad alta intensita' energetica con specifico riferimento a quelli nucleari a fusione.</p> <p>La valutazione avverra' tramite prova orale.</p> <p>CAPACITA' D'APPRENDIMENTO Lo studente, al termine del corso, avra' sviluppato la capacita' di apprendere le problematiche scientifico-tecnologiche che caratterizzano lo sviluppo e la progettazione dei piu' rilevanti componenti di reattori nucleari a fusione.</p> <p>La valutazione avverra' tramite prova orale.</p>
VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO	<p>L'esame prevede la prova orale, valutata in trentesimi. Il voto minimo per superare la prova e' 18/30.</p> <p>La prova ha una durata di 40-50 minuti e consiste in un colloquio, articolato in almeno tre domande a risposta aperta inerenti l'intero programma del corso. Essa e' finalizzata ad accertare:</p> <ul style="list-style-type: none">- il grado di conoscenza, comprensione e padronanza dei contenuti del corso (50% della valutazione finale);- la capacita' di applicare con autonomia di giudizio e rigore metodologico le conoscenze e competenze acquisite all'analisi ed alla soluzione di problematiche tipiche della disciplina (30% della valutazione finale);

	<p>- la proprieta' di linguaggio e la chiarezza espositiva (10% della valutazione finale);</p> <p>- le capacita' di rielaborare criticamente i concetti acquisiti, collocandoli nella opportuna connessione logica con le varie tematiche affrontate nel corso ed in quelli ad esso affini (10% della valutazione finale).</p> <p>METRICA DI VALUTAZIONE</p> <p>- 30 - 30 e lode (ottimo): ottima conoscenza e padronanza dei contenuti del corso illustrata con piena proprieta' di linguaggio e chiarezza espositiva, spiccata attitudine ad applicare con autonomia di giudizio e rigore metodologico le competenze acquisite rielaborandole criticamente.</p> <p>- 27 - 29 (distinto): piena conoscenza dei contenuti del corso illustrata con proprieta' di linguaggio e chiarezza espositiva, capacita' di applicare con buona autonomia di giudizio e rigore metodologico le competenze acquisite.</p> <p>- 24 - 26 (buono): buona conoscenza dei contenuti del corso illustrata con proprieta' di linguaggio, modesta capacita' di applicare con una discreta autonomia le competenze acquisite.</p> <p>- 22 - 24 (soddisfacente): soddisfacente conoscenza dei principali contenuti del corso illustrata con linguaggio tecnico accettabile, scarsa autonomia nell'applicazione delle competenze acquisite.</p> <p>- 18 - 21 (sufficiente): conoscenza minimale dei contenuti essenziali del corso e del pertinente linguaggio tecnico, scarsa o nulla autonomia di applicazione delle competenze acquisite.</p>
OBIETTIVI FORMATIVI	<p>Il 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.</p> <p>L'attenzione sara' 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 a parametri concentrati di un plasma omogeneo ed uniforme, che verrà applicato al caso di un plasma D-T, consentendo di studiarne la dinamica particellare ed energetica. Infine, si introdurranno i concetti di break-even ed ignizione e se ne deriveranno i pertinenti criteri di Lawson. Successivamente, l'attenzione sara' 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 stabilita' dei sistemi di confinamento magnetico aperti e chiusi, con particolare attenzione agli specchi magnetici ed 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.</p>
ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	L'attivita' didattica e' organizzata in lezioni frontali ed esercitazioni di tipo computazionale, prevalentemente svolte con il supporto di software di calcolo matematico.
TESTI CONSIGLIATI	<p>- T. Dolan, Fusion Research – Vol. I-III, Pergamon Press, 1982</p> <p>- Harms et alii, Principles of Fusion Energy, World Scientific, 2000</p> <p>- F. Chen, Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion, Plenum Press, 1984</p>

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
2	Reazione di fusione nucleare - Note sulla dinamica di una reazione di fusione nucleare - Energia di soglia - Sezione d'urto
5	Il plasma - Funzione di distribuzione e densita' volumetrica di una specie particellare - Funzioni di distribuzione fattorizzabili e Maxwelliane - Valori medi delle grandezze caratteristiche di un plasma e temperatura cinetica - Funzione tasso di reazione di una data interazione tra specie particellari di un plasma - Parametro di reazione: definizione generale, significato fisico e confronto con la sezione d'urto
6	Processi collisionali di particelle cariche - Sezione d'urto di scattering elastico - Effetto Debye - Radiazioni di bremsstrahlung e di ciclotrone

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
2	Modello cinetico di un plasma - Campo di validita' e limiti di applicazioni - Equazione del trasporto di Boltzmann per una generica specie particellare di un plasma - Discussione delle forme particolari di Fokker-Planck e di Vlasov per un plasma non-collisionale - Accoppiamento con le equazioni di Maxwell e con le equazioni di chiusura
3	Modello fluidodinamico di un plasma - Campo di validita' e limiti di applicazioni - Equazioni di continuita', della quantita' di moto e dell'energia per una generica specie particellare del plasma - Accoppiamento con le equazioni di Maxwell e le equazioni di stato
3	Modello dinamico di un plasma omogeneo, uniforme ed isotropo - Derivazione delle equazioni di continuita' e dell'energia per una generica specie particellare del plasma - Tempo di confinamento delle particelle e dell'energia
2	Analisi energetica di un plasma - Metodi di riscaldamento del plasma - Processi di raffreddamento del plasma - Fattore di amplificazione dell'energia - Condizioni di ignizione e break-even e relativi criteri
1	Confinamento del plasma - Confinamento gravitazionale, inerziale e magnetico
4	Confinamento magnetico - Moto di una particella carica in un campo di forze di Lorentz - Raggio di Larmor e frequenza di ciclotrone - Moti di deriva di una particella carica sottoposta ad un campo di forze di Lorentz, variabile in modulo e/o in direzione, ed ad un campo di forze esterne - Invarianti del moto di una particella carica
3	Sistemi di confinamento magnetico aperti: principio di funzionamento, cono di perdita, efficienza di confinamento - Fenomeni di instabilita' - Sistemi theta e zeta "magnetic pinch" e relativi fenomeni di instabilita' di tipo "sausage" e "kink"
3	Sistemi di confinamento magnetico chiusi: principio di funzionamento - Trasformata rotazionale e criterio di stabilita' di Kruskal-Shafranov - Macchina TOKAMAK: principio e modalita' di funzionamento, efficienza di confinamento e fenomeni di instabilita' - Macchina Stellarator: principio e modalita' di funzionamento
3	Principali componenti di un reattore di tipo TOKAMAK: magneti, blanket e componenti ad alto flusso - Interazioni plasma-parete ed effetto delle impurita'
1	Processi di conversione e breeding del Trizio in un reattore a fusione nucleare - Modelli per la dinamica del trizio - Tritium breeding
1	Programma internazionale di R&D sulla fusione nucleare - Reattori JET, ITER e DEMO - Macchina IFMIF
ORE	Esercitazioni
3	Funzioni di distribuzione delle specie particellari di un plasma - Temperatura cinetica - Tasso di reazione - Parametro di reazione
1	Stima della potenza emessa da un plasma per radiazioni di bremsstrahlung e di ciclotrone
3	Modello dinamico di un plasma omogeneo, uniforme ed isotropo: applicazione allo studio della dinamica particellare di un plasma D-T isoterma
2	Analisi del moto di elettroni, deutoni e tritoni in un campo di forze di Lorentz
3	Valutazione dell'efficienza di confinamento di sistemi di confinamento magnetico aperti
2	Valutazione dell'efficienza di confinamento di sistemi di confinamento magnetico chiusi
1	Stima della produzione endogena di trizio di un reattore a fusione nucleare di potenza