

ENERGETICA E SISTEMI NUCLEARI

Docente: Sandro Paci

FINALITÀ DEL CORSO

Sulla base di una tradizione decennale all'interno del Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica lo specifico corso di "Energetica e Sistemi Nucleari" fornisce agli allievi dell'indirizzo di Energetica una preparazione introduttiva, sia affrontando argomenti di base che specifici dell'Ingegneria Nucleare, ed è il punto di partenza per la nascita di un bagaglio culturale adatto ad una figura professionale in grado di affrontare i molteplici aspetti tecnici ed economici che caratterizzano le moderne attività di impiego nell'energia nucleare.

OBIETTIVI DEL CORSO

Il corso si propone di far acquisire all'allievo una conoscenza introduttiva alle diverse applicazioni ed ai problemi legati all'utilizzo dell'energia nucleare da fissione, tale da portare alla chiara comprensione dei principi di funzionamento delle diverse tipologie di centrale elettro - nucleari attualmente operanti nello scenario energetico internazionale e delle loro interazioni, anche sociali ed economiche, con l'ambiente.

METODOLOGIA

Il corso si svolge in due semestri; dato il carattere propedeutico del corso, le relative esercitazioni, sia pure sotto forma di brevi richiami, sono strettamente integrate nella teoria in modo che gli argomenti trovino immediata applicazione o richiamo pratico.

Per quanto materialmente possibile, si cercherà di integrare l'attività in aula con esercitazioni, lezioni fuori sede e seminari di esterni.

PRE-REQUISITI

Dai corsi di Matematica:

Analisi I: derivate totali e parziali, semplici equazioni differenziali

Dai corsi di Fisica

Fisica I: Meccanica del punto materiale, concetti di forza, lavoro e potenza, conservazione dell'energia meccanica; fondamenti di idrostatica.

Fisica Tecnica: cicli termici e concetti di energia ed entalpia. Moto di un fluido monofase in un condotto. Principi di scambio termico per conduzione e convezione.

Dal corso di Macchine

Caratteristiche delle pompe, turbine e scambiatori di calore.

COMPETENZE MINIME RICHIESTE PER IL SUPERAMENTO DELL'ESAME

- Conoscenza dei principi di base, sia di fisica nucleare che di fisica del reattore, necessari alla comprensione di una reazione di fissione a catena.
- Conoscenza dei principi di funzionamento e delle caratteristiche tecniche delle diverse tipologie di centrali elettro-nucleari.
- Conoscenza dei problemi tecnici legati all'utilizzo dell'energia nucleare.

MODALITÀ DI VERIFICA

- Prova orale.
- Iscrizione all'esame direttamente con il Docente.

CONTENUTI E ARTICOLAZIONE TEMPORALE

Numero totale di ore in cui si sviluppano nuovi argomenti (L):	85
<u>Numero totale di ore in cui si svolgono esemplificazioni ed esercitazioni di laboratorio (E):</u>	<u>25</u>
Numero totale di ore previste:	110

ELEMENTI DI FISICA NUCLEARE

Introduzione al corso. Richiami introduttive sulle reazioni nucleari: energia di reazione, tipi di particelle emesse, difetto di massa. Leggi del decadimento radioattivo, catene di decadimento per nuclidi genitori/figli. Definizione di attività e di intensità di dose assorbita.

Reazioni nucleari coinvolgenti neutroni: cattura (n, γ), fissione, scattering elastico ed anelastico. Distribuzione dell'energia cinetica dei neutroni di fissione e termici, indurimento dello spettro neutronico maxwelliano. Fenomenologia dello scattering neutronico. Definizione di sezione di urto nucleari e loro dipendenza dall'energia del neutrone incidente. Cattura di risonanza ed effetto Doppler. Principi di scelta di un materiale da utilizzarsi come moderatore. Definizione di flusso neutronico. (L: 18, E: 4)

COSTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA IN UNA CENTRALE NUCLEARE

Introduzione alla problematica della determinazione del costo del chilowattora prodotto da una centrale di tipo elettro - nucleare. Costi di impianto, costo del ciclo del combustibile, costi di esercizio e manutenzione, costi di smantellamento e recupero del sito; contributo delle singole voci al costo totale dell'energia elettrica prodotta (L:2, E: 1).

ELEMENTI DI NEUTRONICA DEL NOCCIOLO DI UN REATTORE NUCLEARE

Introduzione ai principali aspetti di funzionamento e realizzativi di un impianto nucleare. Classificazione delle diverse tipologie di filiera nucleare. Reattori omogenei ed eterogenei, condizioni di criticità.

Distribuzione del flusso neutronico all'interno del nocciolo, cenni alle teorie della diffusione e del trasporto, formula dei quattro fattori, risoluzione dell'equazione della diffusione dei neutroni per particolare geometrie semplici del sistema. Concetti di buckling geometrico e materiale. Fenomenologia dello scattering elastico e del rallentamento dei neutroni in mezzi non assorbenti ed assorbenti (integrale di risonanza, NR), effetto Doppler. Equazioni di criticità ad uno e due gruppi. Cenni alla termalizzazione. Utilizzo di riflettori.

Cinetica del un reattore, effetto dei neutroni ritardati sulla stabilità del reattore, modello ad un gruppo di ritardati, cenni al modello a sei gruppi di ritardati.

Coefficienti di reattività (pressione, vuoto, temperatura combustibile e moderatore) e loro influenza sulla sicurezza e sull'esercizio dell'impianto. Andamento della reattività a breve e lungo termine, effetto dei veleni saturabili, avvelenamento da Xe e Sm.

Cenni al ciclo del combustibile nel nocciolo (L: 22, E: 3).

ELEMENTI DI TERMOFLUIDODINAMICA DI UN REATTORE NUCLEARE

Richiami di termofluidodinamica dei cicli termici, in particolare del ciclo di Rankine. Cenni ai cicli surriscaldati e rigenerativi.

Refrigeranti utilizzati nei reattori nucleari, relative fenomenologie e coefficienti di scambio termico. Richiami relativi al moto di fluidi monofase in un circuito, perdite di carico. Fluidi bifase: regimi di flusso, perdite di carico, regimi di scambio termico e fenomenologia del flusso termico critico.

Barretta di combustibile: potenza volumetrica, andamento di temperatura nel combustibile, camicia e refrigerante. Distribuzione assiale della temperatura nel nocciolo, fattori di picco. Altezza non bollente e portata di ricircolo in un BWR. (L: 15, E: 10)

DESCRIZIONE IMPIANTISTICA DETTAGLIATA DELLE MAGGIORI FILIERE

Introduzione descrittiva di una centrale nucleare di potenza, suoi componenti principali e loro funzioni.

Reattori ad acqua leggera (PWR e BWR), reattori ad acqua pesante (CANDU), cenni ai reattori a gas (Magnox, AGR e HTGR), ai reattori veloci (FBR) ed ai reattori ad acqua leggera dell'ultima generazione (Advanced LWRs) (L: 20, E: 5)

INTRODUZIONE ALLA SICUREZZA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI

Approccio alla sicurezza nucleare, il concetto di difesa in profondità. Classificazione degli incidenti nucleari, la scala IAEA INES. Criteri di progetto dei sistemi di sicurezza, cenni alla legislazione USA, loro descrizione per LWR.

Analisi di un incidente di LOCA in un PWR ed in un BWR. Cenni agli incidenti severi ed agli incidenti di TMI e Chernobyl.

Le diverse tipologie di sistemi di contenimento, comportamento in fase incidentale di un sistema a piena pressione ed a soppressione di pressione (L: 5, E: 5).

TESTI DI RIFERIMENTO

- *Dispense* del Docente del Corso, disponibili anche in rete in formato Adobe® pdf, all'indirizzo <http://docenti.ing.unipi.it/~dimnp/staff/paci.htm> - *dispense*
- E. S. Pedersen, “*Nuclear Power*” Volume 1, Ann Arbor Science Publishers, Michigan, 1978
- S. Glasstone & A. Sesonske, “*Nuclear Reactor Engineering*”, Chapman & Hail, New York, 1994