



# UNIVERSITÀ DI PISA

## FONDAMENTI DI IMPIANTI NUCLEARI

SANDRO PACI

Academic year	2023/24
Course	INGEGNERIA MECCANICA
Code	640II
Credits	6

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
FONDAMENTI DI IMPIANTI ING-IND/19 NUCLEARI		LEZIONI	60	SANDRO PACI

### Obiettivi di apprendimento

#### Conoscenze

Il corso si propone di far acquisire all'allievo una conoscenza dei principali concetti di base e dei problemi legati all'utilizzo dell'energia nucleare da fissione, tali da portare alla chiara comprensione del funzionamento delle centrali elettrico-nucleari ad acqua leggera attualmente operanti nello scenario energetico internazionale e delle loro interazioni, anche sociali ed economiche, con l'ambiente.

#### Modalità di verifica delle conoscenze

Durante la prova orale lo studente deve essere in grado di dimostrare la propria conoscenza degli argomenti trattati nel corso ed essere in grado di discutere i fondamenti del ciclo del combustibile nucleare e del funzionamento delle centrali nucleari ad acqua leggera con correttezza espressiva

Metodo: Prova orale finale

#### Capacità

La verifica sarà centrata sul raggiungimento delle conoscenze minime necessarie per accedere alla laurea magistrale in Ingegneria Nucleare

#### Modalità di verifica delle capacità

L'esame consiste in una prova orale, ossia in un colloquio tra il candidato e il docente anche in forma di domanda/risposta, sui vari argomenti trattati nel corso.

#### Comportamenti

Il corso di "Fondamenti di Impianti Nucleari" fornisce agli allievi del curriculum Nucleare della laurea in Ingegneria Meccanica una preparazione introduttiva all'ingegneria nucleare, affrontando sia argomenti propedeutici di base (come i richiami di fisica nucleare o di fisica del reattore) sia specifici delle diverse tipologie di filiere nucleari; esso 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, di sicurezza ed economici che caratterizzano l'utilizzo dell'energia nucleare.

#### Modalità di verifica dei comportamenti

Per raggiungere la sufficienza, l'allievo deve dimostrare le seguenti competenze:

- 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 elettrico-nucleari;
- conoscenza dei problemi tecnici ed economici legati all'utilizzo dell'energia nucleare.

#### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Dai corsi di Matematica:

Derivate totali e parziali, semplici equazioni differenziali.

Dai corsi di Fisica

Fisica I: 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 conduzione del calore e di scambio termico. Caratteristiche degli scambiatori di calore.



# UNIVERSITÀ DI PISA

## Indicazioni metodologiche

Il corso ha una impostazione di tipo prevalentemente propedeutica ai successivi studi in ingegneria nucleare; le relative esercitazioni, sia pure

sotto forma di brevi richiami, sono strettamente integrate nella teoria in modo che gli argomenti trovino immediata applicazione.

Per quanto materialmente possibile, si cercherà di integrare l'attività in aula con lezioni fuori sede, visite a centrali nucleari (in collaborazione con altri corsi di studio) e seminari di esperti esterni.

## Programma (contenuti dell'insegnamento)

### RICHIAMI DI FISICA NUCLEARE

Introduzione al corso.

Richiami sulle reazioni nucleari: energia di reazione, tipi di particelle emesse, difetto di massa. Reazioni nucleari coinvolgenti neutroni: cattura ( $n, \gamma$ ), fissione, scattering elastico e anelastico. Fenomenologia dello scattering neutronico. Cattura di risonanza ed effetto Doppler.

Distribuzione dell'energia cinetica dei neutroni di fissione e termici.

Definizione di sezione di urto nucleari e loro dipendenza dall'energia del neutrone incidente.

Principi di scelta di un materiale da utilizzarsi come moderatore.

### ELEMENTI DI NEUTRONICA DEL NOCCIOLINO DI UN REATTORE NUCLEARE

Introduzione ai principali aspetti di funzionamento e realizzativi di un impianto nucleare. Classificazione delle diverse tipologie di filiera nucleare.

Distribuzione del flusso neutronico all'interno del nocciolo, cenni alla teoria della diffusione, formula dei quattro fattori, risoluzione dell'equazione della diffusione dei neutroni per particolare geometrie semplici del sistema. Concetti di buckling geometrico e materiale.

Cinetica del reattore, effetto dei neutroni ritardati sulla stabilità del reattore, modello ad un gruppo 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.

Cenni al ciclo del combustibile nucleare nel nocciolo.

### ELEMENTI DI TERMOFLUIDODINAMICA DI UN REATTORE NUCLEARE

Introduzione descrittiva di una centrale nucleare di potenza, suoi componenti principali e loro funzioni. Cenni alle principali caratteristiche delle pompe centrifughe e delle turbine a vapore di uso nucleare.

Refrigeranti utilizzati nei reattori nucleari, relative fenomenologie e coefficienti di scambio termico.

Barretta di combustibile: potenza volumetrica, andamento di temperatura nel combustibile, camicia e refrigerante.

### DESCRIZIONE IMPIANTISTICA DETTAGLIATA DELLE MAGGIORI FILIERE

Reattori ad acqua leggera (PWR e cenni ai BWR) di Gen II e Gen III, cenni ai reattori a veloci (FBR) ed ai reattori di IV generazione. Approccio alla sicurezza nucleare, il concetto di difesa in profondità. Classificazione degli incidenti nucleari, la scala INES.

La fusione nucleare

### COSTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA IN UNA CENTRALE NUCLEARE

Introduzione alla problematica della determinazione del costo del kWh prodotto da una centrale di tipo eletro - 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.

## Bibliografia e materiale didattico

- Sandro Paci, "Introduzione ai Sistemi Nucleari", Collana Manuali, Editrice Pisa University Press. I primi 3 capitoli sono fondamentali per il corso.
- Guerrini, S. Paci, "Appunti di Impianti Nucleari - Parte I: Aspetti Generali", Dedizioni Pisa, 2011.
- Guerrini, S. Paci, "Appunti di Impianti Nucleari - Parte II: Filiera", Dedizioni Pisa, 2011.
- Murray, K.E. Holbert, "Nuclear Energy, Seventh Edition: An Introduction to the Concepts, Systems, and Applications of Nuclear Processes", Butterworth-Heinemann, 2014.

## Indicazioni per non frequentanti

contattare preliminarmente il docente

## Modalità d'esame

L'esame consiste in un colloquio. Durante la prova l'allievo è invitato a discutere uno o più temi che ha autonomamente sviluppato come approfondimento degli argomenti svolti durante il corso.

## Altri riferimenti web

<http://nucleare.ing.unipi.it/it/>