



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## PRINCIPI TERMICI E MECCANICI PER L'INGEGNERIA NUCLEARE

**DONATO AQUARO**

Academic year 2017/18  
Course FISICA  
Code 778II  
Credits 12

| Modules                                                           | Area       | Type    | Hours | Teacher(s)    |
|-------------------------------------------------------------------|------------|---------|-------|---------------|
| PRINCIPI TERMICI E<br>MECCANICI PER<br>L'INGEGNERIA NUCLEARE<br>A | ING-IND/19 | LEZIONI | 48    | DONATO AQUARO |
| PRINCIPI TERMICI E<br>MECCANICI PER<br>L'INGEGNERIA NUCLEARE<br>B | ING-IND/19 | LEZIONI | 48    | SANDRO PACI   |

### Obiettivi di apprendimento

#### Conoscenze

##### Modulo di Principi Termici

Elementi di Termodinamica applicata, trasmissione del calore e meccanica dei fluidi applicati agli impianti nucleari di potenza

##### Modulo di Principi Meccanici

Teoria dell'elasticità applicata alle travi e a semplici strutture assialsimmetriche

#### Modalità di verifica delle conoscenze

esame orale e per il modulo di Principi Meccanici anche una applicazione pratica svolta dallo studente durante l'attività didattica individuale.

#### Capacità

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

#### Modalità di verifica delle capacità

esame finale

#### Comportamenti

##### Modulo Principi Termici

Il corso introduce gli aspetti di termodinamica e trasmissione del calore applicati a problemi di interesse alla tecnologia degli impianti nucleari. In aggiunta a questa parte, verranno trattati gli elementi di meccanica dei fluidi utili per la soluzione di problemi di moto di un fluido all'interno di un circuito idraulico.

##### Modulo di Principi Meccanici

Il corso introduce gli aspetti di Scienza delle Costruzioni utili per lo studio della tecnologia degli impianti nucleari.

#### Modalità di verifica dei comportamenti

esame orale

#### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Dai corsi di Matematica:

Derivate totali e parziali, semplici equazioni differenziali.

Dai corsi di Fisica:

Concetti di forza, lavoro e potenza, statica dei corpi rigidi, conservazione dell'energia meccanica;

#### Corequisiti

nessuno



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

### Prerequisiti per studi successivi

corso propedeutico alla Laurea Magistrale in Ingegneria Nucleare

### 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 e seminari di esperti esterni.

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

#### **Modulo di: Termodinamica applicata, trasmissione del calore e meccanica dei fluidi**

##### Introduzione

Gli impianti nucleari ad acqua leggera ed i loro principali componenti. La conversione di energia da fissione e fusione in energia elettrica. Cenni alle altre tipologie di reattori nucleari.

##### Parte I – Termodinamica applicata

Prima legge della termodinamica, proprietà termodinamiche delle sostanze pure, diagrammi di stato (in particolare dell'acqua), modello di gas ideale e di gas reale. Analisi basata sul volume di controllo di un sistema termodinamico mediante l'uso delle equazioni di bilancio dell'energia e della massa: applicazione a differenti componenti di un impianto nucleare.

Equazione di Eulero e cenni a pompe centrifughe e turbine a gas e vapore.

La seconda legge della termodinamica.

Cicli termodinamici: sistemi con turbine a gas, sistemi con turbine a vapore, cicli ideali vs. cicli reali, semplice applicazione per la valutazione del rendimento termodinamico di un tipico impianto nucleare refrigerato ad acqua.

##### Parte II – Concetti di trasmissione del calore ed applicazioni

Richiami sui modi di scambio termico: conduzione, irraggiamento e convezione, concetto di resistenza termica.

Generazione del calore da fissione nucleare: reazione di fissione e differenti contributi alla generazione del calore, densità di potenza, potenza termica volumetrica, potenza termica lineare. Analisi della trasmissione del calore in una barretta di combustibile di un reattore nucleare di tipo PWR: configurazione della barretta di combustibile e dell'elemento di combustibile, proprietà termiche del combustibile nucleare, distribuzione radiale ed assiale della temperatura nella barretta di combustibile e nel refrigerante.

Scambiatori di calore: definizione dei termini relativi agli scambiatori di calore, equazioni di bilancio ed equazione di scambio termico, analisi degli scambiatori a tubi e mantello.

Esempi di condensatori e generatori di vapore impiegati negli impianti nucleari.

##### Parte III – Meccanica dei fluidi

Fondamenti di flusso monofase. Flusso di fluido viscoso ed incompressibile: flusso in tubazioni, turbolenza e numero di Reynolds, perdite di carico, equazione di Bernoulli generalizzata, fattore di attrito, diagramma di Moody, semplici applicazioni a problemi di interesse per gli impianti nucleari.

Il docente userà il software MATLAB come ausilio per lo svolgimento dei problemi risolti in classe.

#### **Modulo di Principi Meccanici**

##### **Parte I – Principi di teoria dell'elasticità**

1. Geometria delle Masse: baricentro, momento statico, momento d'inerzia e nocciolo d'inerzia.
2. Spostamenti e deformazioni di un continuo in campo lineare: campo di spostamento, tensore delle componenti di deformazione in coordinate cartesiane, cilindriche e sferiche. Congruenza della deformazione.
3. Stato di tensione di un continuo: definizione di tensione in un punto (componenti normali e tangenziali); tensore delle componenti di tensione; tensore principale e direzioni principali; equazioni di equilibrio di un volume infinitesimo in coordinate cartesiane, cilindriche e sferiche.
4. Equazione costitutiva di un continuo elastico lineare. Relazioni tra componenti di tensione e deformazione. Criterio di crisi di un materiale elastico (Criteri di Tresca e Von Mises)
5. Il principio dei lavori virtuali.

##### **Parte II – Teoria dell'elasticità applicata alle travi e a semplici strutture assialsimmetriche**

1. Sforzo normale; flessione semplice; taglio e torsione: determinazione dello stato di sollecitazione e deformazione
2. Equazioni di equilibrio, costitutive e di congruenza di una trave isostatica. Diagrammi del momento e del taglio. Determinazione della linea elastica.
3. Travi iperstatiche: soluzione con il metodo di Muller-Breslau
4. Criteri di resistenza: diagramma tensione-deformazione; classificazione dei materiali. Verifiche di sicurezza.
5. Il problema della stabilità dell'equilibrio elastico. Definizione di carico critico; formula di Eulero.
6. Tensioni membranali in strutture assialsimmetriche soggette a pressione

##### **Parte III - Applicazioni ed Esercitazioni**

Le esercitazioni riguarderanno applicazioni pratiche dei vari argomenti trattati.

### Bibliografia e materiale didattico



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

materiale didattico reso disponibile dai docenti durante il corso

Indicazioni per non frequentanti  
contattare i docenti

Modalità d'esame  
orale

Stage e tirocini  
nessuno

Altri riferimenti web  
[YouNuclear web site](#)

*Ultimo aggiornamento 22/06/2018 12:14*