



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DIPARTIMENTO</b>                                     | Ingegneria                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>ANNO ACCADEMICO OFFERTA</b>                          | 2019/2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE</b>                       | 2021/2022                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>CORSO DILAUREA</b>                                   | INGEGNERIA DELL'ENERGIA E DELLE FONTI RINNOVABILI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>INSEGNAMENTO</b>                                     | PRINCIPI DI INGEGNERIA NUCLEARE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>TIPO DI ATTIVITA'</b>                                | B                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>AMBITO</b>                                           | 50304-Ingegneria nucleare                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>CODICE INSEGNAMENTO</b>                              | 05771                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI</b>                 | ING-IND/19                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>DOCENTE RESPONSABILE</b>                             | DI MAIO PIETRO      Professore Ordinario      Univ. di PALERMO<br>ALESSANDRO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>ALTRI DOCENTI</b>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>CFU</b>                                              | 9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>    | 144                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA</b> | 81                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>PROPEDEUTICITA'</b>                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>MUTUAZIONI</b>                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>ANNO DI CORSO</b>                                    | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>PERIODO DELLE LEZIONI</b>                            | 1° semestre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>MODALITA' DI FREQUENZA</b>                           | Facoltativa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>TIPO DI VALUTAZIONE</b>                              | Voto in trentesimi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI</b>             | <b>DI MAIO PIETRO ALESSANDRO</b><br>Lunedì    10:00    11:00    Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici - Edificio 6 - I Piano - Stanza 115<br>Mercoledì    10:00    11:00    Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici - Edificio 6 - I Piano - Stanza 115<br>Venerdì    10:00    11:00    Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici - Edificio 6 - I Piano - Stanza 115 |

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PREREQUISITI</b>                      | <p>Conoscenze dei fondamenti di:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- calcolo differenziale ed integrale</li> <li>- fisica classica</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b> | <p><b>CONOSCENZA E CAPACITA' DI COMPrensIONE</b><br/>         Lo studente, al termine del corso, avra' maturato un opportuno livello di conoscenza e di comprensione sui seguenti argomenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Atomi, nuclei, reazioni nucleari e radioattivit </li> <li>- Interazione delle radiazioni alfa, beta e gamma con la materia</li> <li>- Interazione dei neutroni con la materia</li> <li>- Elementi di rivelazione e misura di radiazioni ionizzanti</li> <li>- Fondamenti di neutronica: funzioni di distribuzione, densit  neutronica, sezione d'urto, tasso di reazione e flusso neutronico</li> <li>- Elementi di teoria della diffusione dei neutroni</li> <li>- Equazioni di criticit , massa, dimensioni e composizioni critiche di un sistema moltiplicante</li> <li>- Elementi di cinetica 0D di un reattore a fissione uniforme: reattivit , equazione in-hour e periodo stabile</li> <li>- Principio di funzionamento di un reattore a fissione nucleare</li> <li>- Principali componenti di un reattore a fissione nucleare</li> </ul> <p>La valutazione avverr  tramite prova orale.</p> <p><b>CAPACITA' DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE</b><br/>         Lo studente maturer  la capacit  di analizzare e comprendere:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le principali tipologie di interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia</li> <li>- Le funzioni caratteristiche di una popolazione neutronica: densit  neutronica, flusso neutronico e tassi di reazione</li> <li>- I processi di trasporto neutronico in un sistema moltiplicante: fissione, moltiplicazione, assorbimento, rallentamento e diffusione</li> <li>- Lo stato di criticit , sub-criticit  o supercriticit  di un sistema moltiplicante di data massa, composizione e dimensioni</li> <li>- La dinamica neutronica di un sistema moltiplicante uniforme</li> <li>- Le caratteristiche strutturali e funzionali dei principali componenti di un reattore a fissione nucleare</li> </ul> <p>La valutazione avverr  tramite prova orale.</p> <p><b>AUTONOMIA DI GIUDIZIO</b><br/>         Lo studente, al termine del corso, avra' maturato la capacit  di valutare autonomamente i principali meccanismi di interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia nonch  i principali processi che stanno alla base del funzionamento stazionario e dinamico di un reattore a fissione nucleare.</p> <p>La valutazione avverr  tramite prova orale.</p> <p><b>ABILITA' COMUNICATIVE</b><br/>         Lo studente, al termine del corso, avra' maturato un opportuno livello di dimestichezza con il linguaggio tecnico-scientifico impiegato nell'ambito della fisica e dell'ingegneria dei reattori a fissione nucleare.</p> <p>La valutazione avverr  tramite prova orale.</p> <p><b>CAPACITA' DI APPRENDIMENTO</b><br/>         Lo studente svilupper  la capacit  di apprendere le problematiche scientifico-tecnologiche che caratterizzano il funzionamento e la progettazione dei reattori a fissione nucleare.</p> <p>La valutazione avverr  tramite prova orale.</p> |
| <b>VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO</b>    | <p>L'esame prevede la prova orale, valutata in trentesimi. Il voto minimo per superare la prova   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   finalizzata ad accertare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- il grado di conoscenza, comprensione e padronanza dei contenuti del corso (50% della valutazione finale);</li> <li>- la capacit  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);</li> <li>- la propriet  di linguaggio e la chiarezza espositiva (10% della valutazione finale);</li> <li>- le capacit  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).</li> </ul> <p><b>METRICA DI VALUTAZIONE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 30 - 30 e lode (ottimo): ottima conoscenza e padronanza dei contenuti del corso illustrata con piena propriet  di linguaggio e chiarezza espositiva, spiccata attitudine ad applicare con autonomia di giudizio e rigore metodologico</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | <p>le competenze acquisite rielaborandole criticamente.</p> <p>- 27 - 29 (distinto): piena conoscenza dei contenuti del corso illustrata con proprietà di linguaggio e chiarezza espositiva, capacità 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 proprietà di linguaggio, modesta capacità 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>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>OBIETTIVI FORMATIVI</b>            | <p>Il corso mira ad introdurre le tematiche di base propedeutiche all'analisi ed alla comprensione dei principali aspetti ingegneristici e tecnologici degli impianti a fissione nucleare volti alla produzione di energia elettrica su scala industriale. L'attenzione sarà focalizzata inizialmente su alcune nozioni di base di fisica moderna relative ai concetti di atomo, nucleo, reazioni nucleari e radioattività. Successivamente si tratteranno le interazioni delle radiazioni ionizzanti (alfa, beta, gamma e neutroni) con la materia, dando cenni sugli strumenti di rivelazione e misura di tali radiazioni. Si introdurranno i fondamenti della neutronica, definendo le funzioni caratteristiche di una popolazione neutronica, quali densità, flusso e tassi di reazione. In seguito si focalizzerà l'attenzione sui processi che determinano il trasporto neutronico in un sistema moltiplicante quali fissione, moltiplicazione, assorbimento, rallentamento e diffusione, introducendo i fondamenti della teoria della diffusione monoenergetica. Si analizzerà il comportamento di una popolazione neutronica in un sistema moltiplicante sia in condizioni stazionarie, introducendo il concetto di massa, dimensioni e composizione critiche, sia in condizioni dinamiche, introducendo un modello 0D di cinetica neutronica per un reattore uniforme con particolare enfasi sui concetti di reattività, equazione in-hour e periodo stabile. Infine, si illustrerà il principio di funzionamento di un reattore a fissione nucleare e se ne descriveranno l'architettura funzionale e le caratteristiche ingegneristiche dei principali componenti.</p> |
| <b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b> | <p>L'attività didattica è organizzata in lezioni frontali ed esercitazioni di tipo numerico, prevalentemente svolte con il supporto di software di calcolo matematico.</p> <p>Il dott. P. Chiovaro parteciperà attivamente allo svolgimento di lezioni ed esercitazioni del corso.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>TESTI CONSIGLIATI</b>              | <p>- Lamarsh, Baratta, Introduction to Nuclear Engineering, Addison-Wesley Series in Nuclear Science and Engineering, Prentice Hall College Div, 2001</p> <p>- M. Cumo, Impianti Nucleari, Casa editrice Università La Sapienza, 2008</p> <p>- C. Lombardi, Impianti Nucleari, CUSL, 2004</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

## PROGRAMMA

| ORE | Lezioni                                                                                                                        |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3   | Atomi, nuclei, reazioni nucleari e radioattività                                                                               |
| 3   | Interazione delle radiazioni alfa, beta e gamma con la materia                                                                 |
| 3   | Interazione dei neutroni con la materia                                                                                        |
| 2   | Elementi di rivelazione e misura di radiazioni ionizzanti                                                                      |
| 5   | Fondamenti di neutronica: funzioni di distribuzione, densità neutronica, sezione d'urto, tasso di reazione e flusso neutronico |
| 8   | Elementi di teoria della diffusione dei neutroni                                                                               |
| 5   | Equazioni di criticità, massa, dimensioni e composizioni critiche di un sistema moltiplicante                                  |
| 8   | Elementi di cinetica 0D di un reattore a fissione uniforme: reattività, equazione in-hour e periodo stabile                    |
| 8   | Principio di funzionamento di un reattore a fissione nucleare                                                                  |
| 6   | Principali componenti di un reattore a fissione nucleare                                                                       |
| ORE | Esercitazioni                                                                                                                  |
| 3   | Radioattività: decadimento di famiglie di radioisotopi                                                                         |
| 9   | Distribuzione del flusso neutronico termico in sistemi moltiplicanti elementari                                                |
| 6   | Determinazione della configurazione critica di un sistema moltiplicante                                                        |
| 6   | Dinamica neutronica di un sistema moltiplicante uniforme                                                                       |
| 6   | Progetto di massima del core di un impianto nucleare di tipo PWR                                                               |