

## Informazioni generali

- Anno di corso: 1
- Semestre: 1+2
- CFU: 12

## Docenti responsabili

[Francesco ROMANELLI](#)

## Obiettivi

Fornire agli studenti di ingegneria energetica le basi conoscitive per comprendere e partecipare alle attività per l'utilizzazione a fini energetici della energia nucleare nelle applicazioni pacifiche mediante i processi di fissione e di fusione.

## Programma

### Modulo 1 (primo semestre)

**Introduzione.** Dimensioni dell'atomo e del nucleo, spettrometro di massa, isotopi, neutrone. Sezione d'urto. Richiami di meccanica statistica.

**Le evidenze sperimentali della meccanica quantistica.** Corpo nero, spettri di assorbimento ed emissione, l'atomo di Bohr, l'effetto fotoelettrico, i fotoni, effetto Compton, diffrazione degli elettroni, relazione massa energia, cenni di meccanica relativistica, dualità onda-particella, proprietà ondulatorie della materia, relazione di De Broglie.

**Le basi teoriche della meccanica quantistica.** L'equazione di Schrödinger dipendente da tempo. Significato fisico della funzione d'onda. Equazione di Schrödinger indipendente dal tempo. Stati stazionari. Principio di indeterminazione di Heisenberg. Soluzione dell'equazione di Schrödinger indipendente dal tempo in alcuni casi rilevanti: particella libera, buca di potenziale, barriera di potenziale (effetto tunnel).

**I fenomeni nucleari e la loro interpretazione.** Difetto di massa, energia di legame, modelli

nucleari, energia di reazione, urti elastici, energia di legame per nucleone, fissione e fusione.

Radioattività naturale e trasmutazioni, decadimenti radioattivi e vita media, famiglie radioattive, equilibrio secolare, esempi di reazioni nucleari da alfa, beta, gamma, neutroni, attivazione indotta da neutroni, attività, dose ed altre unità radiometriche. Calore da decadimento nucleare, danni da radiazione.

Interazioni tra neutroni e materia, rallentamento dei neutroni, sezioni d'urto neutroniche, cammino libero medio, flusso, fluenza, ed altre grandezze.

Equazioni di trasporto (Boltzmann). Trasporto neutronico. Metodi deterministici e metodi Monte Carlo. Codici principali di simulazione del trasporto neutronico. Codici di attivazione.

**Fissione nucleare.** Reazioni di fissione, catene di reazioni, tempi, criticità, neutroni pronti e ritardati, reattori a fissione, materiali fissili e fertili, principi di funzionamento, arricchimento, uranio impoverito, moderatore e refrigerante, avvelenamento, schermo biologico, riflettore, modelli di reattori, BWR, PWR, CANDU, reattori in funzione e in costruzione, scorie, sicurezze. Descrizione dell'ingegneria del reattore a fissione e dei principali schemi di reattore attualmente in costruzione. Reattori di quarta generazione.

## Modulo 2 (secondo semestre)

**Fusione nucleare.** Reazioni di fusione, reattori a fusione, ciclo deuterio-trizio, confinamento magnetico, principi ed esempi, JET, ITER, cenno alla Road Map. Cenno al confinamento inerziale.

Classificazione dei plasmi, lunghezza di Debye, collisioni tra particelle cariche, fenomeni di rallentamento collisionale, resistività dei plasmi termonucleari.

Schema del reattore a fusione, bilancio di potenza, criterio di Lawson, temperatura ideale di ignizione, determinazione del punto di lavoro del reattore a fusione.

Moto di particelle cariche in campi elettrici e magnetici debolmente disomogenei, moti di deriva, confinamento in equilibri toroidali, trasformata rotazionale, configurazioni magnetiche assialsimmetriche e non assialsimmetriche (tokamak e stellarator).

Richiami di elettromagnetismo, campi magnetici statici, equilibrio di una configurazione toroidale assialsimmetrica, campo verticale, equazione di Grad-Shafranov. Induzione della corrente di plasma, trasformatore, bilancio del flusso magnetico, dimensionamento di un reattore tokamak.

Smaltimento del calore e delle ceneri. Modelli per la dinamica del plasma nello scrape-off layer. L'interazione plasma-parete. Il divertore.

Blanket per produzione di trizio e per schermatura dei neutroni, metodi numerici per la soluzione dell'equazione del trasporto, metodo Monte Carlo, calcolo di attivazione, trasmutazione, calore di decadimento e danno da radiazione nei componenti dei reattori a fusione.

## Eventuali propedeuticità

Non sono previste propedeuticità formali.

## Testi di riferimento

Materiale distribuito a lezione. Appunti tratti dalle lezioni.

Testi per consultazione:

- M. Born, Fisica atomica, Boringhieri, 1976
- E. Segre', Nuclei and particles, Benjamin/Cummings Pub. Co (1982)
- F. Romanelli, Plasma Physics and Engineering Nuclear Energy Encyclopedia, Steven Krivit (Editor) ISBN: 978-0-470-89439-2 August 2011
- F. Romanelli and M. Laxaback, *Fusion Energy Research for ITER and Beyond*, Green, Vol.1 (2011) pp.249-261

## Modalità d'esame

La valutazione dello studente prevede una prova scritta e una prova orale. Nella prova scritta vengono proposti sei esercizi di cui tipicamente quattro richiedono di calcolare una quantità e due di spiegare in maniera succinta alcuni dei risultati principali del corso. Per i primi la valutazione viene data sulla base della correttezza del procedimento e del risultato ottenuto. Per i secondi la valutazione riguarda la completezza, il grado di approfondimento e la correttezza della risposta.

Nella prova orale viene data allo studente la possibilità di commentare e di correggere gli errori del compito scritto. Vengono proposti due/tre argomenti sui vari aspetti del corso. La valutazione viene data in base alla capacità dello studente di effettuare i necessari legami tra parti diverse del corso allo scopo di risolvere problemi di natura pratica (p.e. il dimensionamento di una componente di un reattore nucleare).

## Scheda insegnamento



[&nbsp;Scheda insegnamento Fisica dell'Energia Nucleare \(99 kB\)](#)