



## UNIVERSITÀ DI PISA

### FISICA MEDICA

MARIA EVELINA FANTACCI

|               |         |
|---------------|---------|
| Academic year | 2020/21 |
| Course        | FISICA  |
| Code          | 205BB   |
| Credits       | 9       |

|               |        |         |       |                                                            |
|---------------|--------|---------|-------|------------------------------------------------------------|
| Modules       | Area   | Type    | Hours | Teacher(s)                                                 |
| FISICA MEDICA | FIS/07 | LEZIONI | 54    | MARIA EVELINA FANTACCI<br>DANIELE PANETTA<br>VALERIA ROSSO |

#### Obiettivi di apprendimento

##### Conoscenze

Il corso fornisce le basi fisiche delle tecniche diagnostiche in radiologia (principalmente con raggi X), in medicina nucleare con radioisotopi emettitori di singolo fotone e di positroni, e delle tecniche usate in radioterapia e nel campo dell'imaging molecolare.

##### Modalità di verifica delle conoscenze

Le conoscenze verranno verificate durante la prova d'esame.

##### Capacità

Al termine del corso gli studenti saranno in grado di riconoscere le basi teoriche dei processi fisici rilevanti per la radiologia e la medicina nucleare, i principi di funzionamento, le prestazioni ed i limiti dei sistemi di rivelazione per la diagnostica con radiazioni ionizzanti, per la radioterapia e per l'imaging molecolare.

##### Modalità di verifica delle capacità

Le capacità verranno verificate durante la prova d'esame.

##### Comportamenti

Gli studenti saranno in grado di applicare sperimentalmente le conoscenze acquisite e di condurre gli esperimenti con sistemi di imaging con radiazioni ionizzanti previsti nel corso di laboratorio.

##### Modalità di verifica dei comportamenti

I comportamenti verranno verificati in forma teorica durante la prova d'esame.

##### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Conoscenza di base delle interazioni radiazione-materia e dei principi di funzionamento dei rivelatori di radiazioni ionizzanti.

##### Programma (contenuti dell'insegnamento)

Introduzione alle immagini biomediche: imaging morfologico e funzionale; immagini fisiche e parametriche; immagini digitali; parametri di qualità delle immagini (risoluzione spaziale, contrasto rapporto segnale-rumore); rappresentazione e formati. Il fenomeno della radioattività. Decadimenti radioattivi e attività. Il decadimento beta: considerazioni energetiche. Il processo di Electronic Capture. Lo spettro beta. Il decadimento alfa: considerazioni energetiche. Legge di Geiger-Nuttall. Decadimento gamma. Decadimenti radioattivi e le equazioni di Bateman. Equilibrio secolare. L'imaging funzionale. Il Tecnezio 99m e la medicina nucleare. I rivelatori di radiazione per la medicina nucleare. I collimatori in medicina nucleare. Risoluzione spaziale e sensibilità. I fotorivelatori: PMT, PSMT, Fotodetettori a stato solido. Tomografia ad emissione di positroni (PET). Produzione dei radioisotopi beta+ emettenti. IL Ciclotrone. Il range del positrone e annichilazione nel tessuto. Il positronio. Risoluzione spaziale in PET. Scintillatori e loro proprietà per la PET. Risoluzione Temporale ed Energetica. L'indice di rifrazione dello scintillatore. Geometria dei tomografi PET. Correzioni e Normalizzazioni. Attenuazione e Scattering. NEC. PET a tempo di volo (TOFPET). Formazione delle immagini radiografiche. Produzione dei raggi X. Caratteristiche dei fasci di raggi X. Influenza della scattering Compton sulla formazione delle immagini radiografiche. Radiografia tradizionale, digitalizzazione delle immagini radiografiche analogiche e radiografia digitale. Sistemi CR e DR per radiografia digitale. Screening mammografico, mammografia digitale e strumentazione innovativa per



## UNIVERSITÀ DI PISA

mammografia digitale. Dall'imaging radiografico all'imaging tomografico. Principi dell'imaging tomografico. Tomografia Computerizzata, numero CT. Metodi e parametri per l'acquisizione e la ricostruzione delle immagini tomografiche. Concetti di base dei metodi di ricostruzione: Funzione oggetto e funzione immagine; esempio di funzione oggetto nel caso di CT, PET e SPECT; definizione formale di dispositivo di imaging come sistema lineare; point spread function. Problemi diretti e problemi inversi; esempi di problemi inversi in tomografia. Approccio analitico e approccio iterativo alla ricostruzione di immagini da proiezioni. Ricostruzione analitica. Definizioni: integrale di linea e trasformata di Radon in 2D (geometria parallel-beam); sinogramma. Teorema della Sezione Centrale. Inversione della trasformata di Fourier 2D da dati campionati su una griglia radiale; ricostruzione diretta di Fourier (DFR) e retroproiezione filtrata (FBP). FBP: filtro a rampa; frequenza di taglio; espressione analitica del filtro a rampa nel dominio spaziale; presenza di valori negativi nel sinogramma filtrato e implicazioni. Retroproiezione e suo significato geometrico; aliasing da sottocampionamento angolare; significato fisico dei valori negativi nell'immagine ricostruita. Algoritmo BPF e deconvoluzione. Confronto di FBP e BPF. Ricostruzione analitica di proiezioni divergenti; trasformazioni di coordinate; fattori di peso; ridondanza parziale e metodi di correzione; finestra di Parker; minimo intervallo angolare per ricostruzione esatta. Ricostruzione 3D: CT elicoidale per scanner single slice mediante interpolazione lineare lungo z. Definizione di trasformata di Radon in  $R^n$ . Integrali su iperpiani. Ricostruzione CT in geometria cone-beam circolare. Condizione di sufficienza di Tuy-Smith. Metodo di Feldkamp-Davis-Kress. Conseguenze della non esattezza del metodo FDK. Ricostruzione 3D PET: single slice rebinning. Sensibilità vs. accettazione angolare per LOR inclinate. Ricostruzione iterativa. Impostazione del problema diretto; rappresentazione dei dati: vettore immagine, vettore proiezione; matrice del sistema. Esempio: immagine 2x2 con matrice di sistema non singolare. Matrici sparse e metodi iterativi per l'inversione della matrice del sistema; sistemi sottodeterminati e sovradeterminati; metodo di Kaczmarz o ART. Ricostruzione statistica per imaging in emissione: metodo ML-EM; soluzione di prova e generazione del temine di correzione; formula di loop (senza derivazione). Analogie tra tomografia e pianificazione del piano di trattamento in radioterapia. Pianificazione diretta e inversa. Inverse planning in IMRT. Funzione costo, ricerca del minimo globale, cenno sull'algoritmo di Simulated Annealing. Ottimizzazione fisica e ottimizzazione biologica. Esempi di artefatti e tecniche di correzione: indurimento spettrale in CT, correzione di attenuazione PET mediante CT, artefatti da disallineamento geometrico in micro-CT, correzione di artefatti da movimenti di tipo periodico: gating prospettico e retrospettivo. Metodi ed algoritmi di image processing. Tomosintesi. Valutazione delle proprietà di imaging dei sistemi diagnostici. Sistemi di Computer Aided Detection. Esempio di lung CAD. Web/cloud-based services. Problema dosimetrico in CT. Analisi del rumore e delle proprietà di imaging in CT ricostruite con ASIR. Endoscopia virtuale. Imaging multimodale. Introduzione alla radioterapia. Richiami di interazioni radiazione-materia e curve dose-profondità. Cenni di radiobiologia. Radioterapia con elettroni e fotoni. Il LINAC. Piani di trattamento. Fonti di errore. Dosimetria. Adroterapia. Monitoraggio PET in adroterapia. BNCT. Ecografia. Risonanza Magnetica Nucleare. Imaging molecolare. Prospettive di medicina personalizzata.

### Bibliografia e materiale didattico

Slides delle lezioni, dispense e lavori scientifici distribuiti durante il corso.  
E. Fermi, Nuclear Physics, The University of Chicago Press  
G.F. Knoll, Radiation detection and measurement, Wiley & Sons.  
A. Brahme, Comprehensive Biomedical Physics, Elsevier.  
S. Webb, The physics of medical imaging, CRC Press.  
S. Webb, The physics of three-dimensional radiation therapy, CRC Press.

### Modalità d'esame

L'esame consisterà in una prova orale sugli argomenti trattati nel corso.

Ultimo aggiornamento 20/01/2021 12:15